



SKRIPSI – TK 141581

**Pengaruh Proses Metabolisme Bakteri *Shewanella oneidensis*
MR-1 Pada Pengolahan Limbah Logam Cr dan Mn dalam
Reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC)**

Oleh:

Ginangjar Adi Prakoso

NRP. 02211546000014

Tommy Adam Bachtiar

NRP. 02211546000018

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.

NIP. 19590730 198603 2 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. R. Darmawan, ST. MT.

NIP. 19780506 200912 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



FINAL PROJECT – TK 141581

**Influence Of *Shewanella oneidensis* MR-1 Bacterial Metabolism
Process On Waste Treatment Of Cr and Mn Metals In Reactor
Microbial Fuel Cell (MFC)**

By:

Ginanjari Adi Prakoso

NRP. 02211546000014

Tommy Adam Bachtiar

NRP. 02211546000018

Advisor I

Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.

NIP. 19590730 198603 2 001

Advisor II

Dr. Eng. R. Darmawan ST., MT.

NIP. 19780506 200912 1 001

**DEPARTEMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PROSES METABOLISME BAKTERI SHEWANELLA ONEIDENSIS MR-1 PADA PENGOLAHAN LIMBAH LOGAM CR DAN MN DALAM REAKTOR MICROBIAL FUEL CELL (MFC)

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-I Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi
Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Ginanjar Adi Prakoso

NRP. 02211546000014

Tommy Adam Bachtiar

NRP. 02211546000018

Disetujui oleh Tim Penguji Skripsi:

1. Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng

(Pembimbing I)

[Signature]

2. Dr. Eng. R. Darmawan, ST. MT.

(Pembimbing II)

[Signature]

3. Dr. Widiyastuti ST. MT.

(Penguji I)

[Signature]

4. Donny Satria Buana, ST. M.Sc. Adv

(Penguji II)

[Signature]



Surabaya, Januari 2018

Hal : Permohonan Seminar Skripsi

Kepada :

Yth. Koordinator Progam Studi S-1

Departemen Teknik Kimia FTI-ITS

Surabaya

Dengan Hormat,

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa nama yang tersebut di bawah ini :

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1. Ginanjar Adi Prakoso | NRP : 2315 106 014 |
| 2. Tommy Adam Bachtiar | NRP : 2315 106 018 |

Telah menyelesaikan Skripsi dengan judul :

“Pengaruh Metabolisme Bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* pada Pengolahan Limbah Logam Cr dan Mn dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC)”

Sehubungan dengan hal tersebut, kami mohon nama tersebut diperkenankan mengikuti seminar skripsi.

Atas perhatian Ibu, kami mengucapkan terima kasih.

Surabaya, 08 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001

Dr. Eng. R. Darmawan ST., MT.
NIP. 1978 05 06 2009 12 1001

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Pengolahan Limbah Industri

Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001

LEMBAR PERSETUJUAN

Laporan Seminar Skripsi dengan judul :

**“Pengaruh Proses Metabolisme Bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1*
pada Pengolahan Limbah Logam Cr dan Mn dalam Reaktor *Microbial
Fuel Cell* (MFC)”**

Yang disusun oleh :

Ginjar Adi Prakoso **NRP. 2315 106 014**

Tommy Adam Bachtiar **NRP. 2315 106 018**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan :

Surabaya, 08 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001

Dr. Eng. R. Darmawan ST., MT.
NIP. 1978 05 06 2009 12 1001

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Pengolahan Limbah Industri

Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001

Pengaruh Proses Metabolisme Bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 Pada Pengolahan Limbah Logam Cr dan Mn dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC)

ABSTRAK

Kromium (Cr) dan Mangan (Mn) merupakan logam berat yang memiliki potensial oksidasi tinggi sehingga dapat menyebabkan mutagenesis dan bersifat karsinogenik terhadap organisme hidup. Banyak bakteri yang telah diketahui resisten dan bahkan mampu mereduksi Cr dan Mn. *Microbial Fuel Cell* (MFC) muncul sebagai salah satu aplikasi dalam pengolahan logam Cr dan Mn. Teknologi berdasarkan MFC mewakili pendekatan baru pengolahan limbah menjadi energi, salah satu alternatif yang bagus adalah mengembangkan *fuel cell* berbasis biologi. *Microbial fuel cell* (MFC) adalah bioreaktor yang mengubah energi kimia senyawa organik menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik mikroorganisme dalam kondisi anaerob. Sebagian besar bakteri yang telah diidentifikasi mampu menghasilkan listrik dengan cara mereduksi logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 pada pembuatan energi listrik dengan memanfaatkan limbah organik, dan mengetahui konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 pada sisi anoda yang paling berpengaruh untuk mereduksi logam Cr, Mn, dan campurannya pada sisi katoda dengan menggunakan *Microbial Fuel Cell* (MFC). Metode penelitian menggunakan larutan organik limbah cair pabrik gula (molases) dengan perbandingan konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 10 % ; 12,5 % ; 15 % (v/v) pada sisi anoda, pada sisi katoda menggunakan larutan Cr(VI), Mn(VII), dan campuran keduanya dengan rasio 1:0 ; 0:1 ; 1:1 (w/w). Metode ini dilakukan dengan *dual chamber reactor* yang dihubungkan dengan jembatan garam dan terdapat elektroda grafit di setiap chamber yang dihubungkan dengan kabel tembaga. Hasil penelitian yang dilakukan yaitu metode *Microbial Fuel Cell* (MFC) *dual chamber* mampu mengkonversi limbah pabrik gula menjadi energi listrik serta mereduksi logam Cr dan Mn dengan bantuan bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1. Variabel konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 15% pada variabel logam campuran Cr dan Mn adalah yang terbaik untuk menghasilkan produksi listrik tertinggi, yaitu sebesar 46,33 (mW/m²). Variabel konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 15% adalah yang terbaik untuk mereduksi logam berat Cr⁶⁺ menjadi Cr³⁺ terbesar pada variabel logam campuran Cr dan Mn dengan konsentrasi awal 8,01 mg/L menjadi 1,43 mg/L dengan persen removal sebesar 82,15%. Variabel konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 15% adalah yang terbaik untuk mereduksi logam berat Mn⁷⁺ menjadi Mn²⁺ terbesar pada variabel logam campuran Cr dan Mn dengan konsentrasi awal 8,01 mg/L menjadi 2,95 mg/L dengan persen removal sebesar 63,17%. Variabel konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 15% adalah yang terbaik untuk penurunan kadar BOD₅ terbesar pada variabel logam Cr dengan konsentrasi awal 4905 mg/L menjadi 2505 mg/L dengan persen removal sebesar 48,24%.

Kata kunci : *Shewanella oneidensis* MR-1; *Microbial Fuel Cell* (MFC); reduksi kromium; reduksi mangan; bio-listrik

Influence of *Shewanella oneidensis* MR-1 Bacterial Metabolism Process On Waste Treatment of Cr and Mn Metals in Reactor *Microbial Fuel Cell* (MFC)

ABSTRACT

Chromium (Cr) and Manganese (Mn) are heavy metals that have high oxidation potentials that can cause mutagenesis and carcinogenic to living organisms. Most of the bacteria known to be resistant and even can reduce Cr and Mn. *Microbial Fuel Cell* (MFC) appear as an application in the processing of Cr and Mn metals. Technology based on MFC represents a new approach to waste treatment into energy. One good alternative is to develop bio-based fuel cells. *Microbial fuel cell* (MFC) is a bioreactor that converts the chemical energy of organic compounds into electrical energy through the catalytic reaction of microorganisms in anaerobic conditions. Most of the bacteria identified capable to generating electricity by reducing metals. The aim of this research are to find out the role of *Shewanella oneidensis* MR-1 bacteria in making electric energy by utilizing organic waste, and to find out the concentration of *Shewanella oneidensis* MR-1 on the side of the most influential anode to reduce Cr, Mn, and mixed metal on the cathode side by using *Microbial Fuel Cell* (MFC). The research method used organic solution of sugar factory liquid waste (molasses) with ratio of bacteria concentration of *Shewanella oneidensis* MR-1 10%; 12.5%; 15% (v/v) on the anode side, on the cathode side using Cr (VI), Mn (VII) solutions, and mixed the ratio of 1:0 ; 0:1 ; 1:1. This method was carried out with a dual chamber reactor connected to a salt bridge and graphite electrodes in each chamber attached to a copper cable. The result of this research are *Microbial Fuel Cell* (MFC) method of dual chamber able to convert sugar mill waste into electrical energy and reduce Cr and Mn metal with the help of *Shewanella oneidensis* MR-1. *Shewanella oneidensis* MR-1 15% bacteria concentration variable is the best condition to produce the highest electricity production, which is equal to 46,33 (mW/m²). *Shewanella oneidensis* MR-1 15% concentration was the best condition to reduce heavy metal Cr⁶⁺ to Cr³⁺ in variable Cr and Mn mixed metals with an initial concentration of 8.01 mg/L to 1.43 mg/L with a percent removal of 82,15%. *Shewanella oneidensis* MR-1 15% concentration is the best condition to reduce heavy metal Mn⁷⁺ to Mn²⁺ in the largest mixture of Cr and Mn with initial concentration of 8.01 mg/L to 2.95 mg/L with a percent removal of 63,17%. *Shewanella oneidensis* MR-1 15% concentration is the best condition to decrease the highest BOD₅ content in Cr metal variables with initial concentration of 4905 mg/L to 2505 mg/L with percent removal of 48.24%.

Keywords: *Shewanella oneidensis* MR-1; *Microbial Fuel Cell* (MFC); Chromium reduction; Manganese reduction; Bio-electricity

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Proses Metabolisme Bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1 pada Pengolahan Limbah Logam Cr dan Mn dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC)”**.

Dalam pelaksanaan Tugas Akhir serta penulisan laporan Skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat, karunia, kasih sayang, tuntunan, dan kemudahan yang diberikan sampai saat ini.
2. Bapak Juwari, S.T. M.Eng. Ph.D. selaku ketua departemen teknik kimia FTI-ITS.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS, sekaligus Dosen Pembimbing I Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS atas bimbingan, saran dan motivasi yang telah diberikan.
4. Bapak Dr. Eng. R. Darmawan, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS atas bimbingan, saran dan motivasi yang telah diberikan.
5. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, dan semangat kepada penulis
6. Semua rekan - rekan Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, pejuang tesis dan skripsi bertema *Microbial Fuel Cell* (MFC) khususnya Mbak Prapti Ira Kumalasari, Nora Ellyza, Aprillia Ayuningtyas, serta Pak Abubakar Tuhuloula atas semua dukungan, semangat, inspirasi, pengetahuan, pemahaman, dan kerjasamanya.
7. Semua pihak yang telah membantu dan belum dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan Skripsi ini. Harapan terakhir, semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi kita semua

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah.....	I-3
I.3 Tujuan Penelitian	I-3
I.4 Manfaat Penelitian	I-4
I.5 Batasan Masalah	I-4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 <i>Microbial Fuel cell</i> (MFC).....	II-1
II.2 Prinsip Kerja <i>Microbial Fuel cell</i> (MFC)	II-1
II.3 Anoda <i>Microbial Fuel cell</i> (MFC)	II-2
II.4 Katoda <i>Microbial Fuel cell</i> (MFC)	II-3
II.5 Substrat dan Mikroorganisme di <i>Microbial Fuel cell</i> (MFC)	II-4
II.6 Komponen Penyusun <i>Microbial Fuel cell</i> (MFC)	II-5
II.7 Bakteri <i>Shewanella oneidensis</i>	II-6
II.8 Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	II-8
II.9 Penelitian Terdahulu.....	II-10

BAB III METODE PENELITIAN

III.1 Kondisi Operasi	III-1
III.2 Variabel Percobaan.....	III-1
III.3 Bahan,Alat dan Skema Alat Penelitian.....	III-2
III.4 Diagram Alir Penelitian.....	III-3
III.5 Prosedur Penelitian	III-4
III.6 Tahap Analisa Proses.....	III-5
III.7 Rencana Jadwal Kegiatan.....	III-7

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

IV.1 Prinsip Kerja <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC)	IV-1
IV.2 Prinsip Kerja Bakteri	IV-2

IV.3 Produksi listrik yang dihasilkan dengan populasi bakteri	IV-3
IV.4 Diagram Alir Penelitian.....	IV-7
IV.5 Reduksi logam Cr, Mn, dan Campuran Keduanya.....	IV-10
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	V-1
V.2 Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA	ix
APPENDIKS A	A-1
APPENDIKS B	A-2
RIWAYAT PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Bakteri yang digunakan di MFC.....	II-4
Tabel 2.2 Bahan material yang digunakan untuk menyusun (MFC)	II-6
Tabel 3.1 Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian Tahun 2017-2018.....	III-7

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema MFC dengan dua elektroda.....	II-1
Gambar 2.2 Sistem Kerja <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC).....	II-2
Gambar 2.3 Deret Volta	II-3
Gambar 2.4 Reaksi Reduksi dan Oksidasi	II-4
Gambar 2.5 Skema Diagram Komponen Penyusun <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC)	II-5
Gambar 2.6 Elektroda Grafit Batang Silinder	II-6
Gambar 2.7 Bakteri <i>Shewanella oneidensis</i>	II-7
Gambar 2.8 Cara bakteri mentransfer elektron.....	II-8
Gambar 2.9 Kurva Pertumbuhan Bakteri	II-9
Gambar 3.1 Rangkaian alat <i>microbial fuel cells</i>	III-2
Gambar 3.2 Diagram Alir <i>microbial fuel cells</i>	III-3
Gambar 3.3 Hemasitometer (<i>Counting Chamber</i>).....	III-6
Gambar 4.1 Reaktor <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC) <i>dual chamber</i>	IV-1
Gambar 4.2 Kurva pertumbuhan bakteri <i>Shewanella oneidensis MR-1</i>	IV-2
Gambar 4.3 Kurva produksi listrik yang dihasilkan untuk variabel logam Mn	IV-3
Gambar 4.4 Kurva pertumbuhan populasi bakteri <i>Shewanella oneidensis MR-1</i> untuk variabel logam Mn	IV-4
Gambar 4.5 Kurva produksi listrik yang dihasilkan untuk variabel logam Cr	IV-4
Gambar 4.6 Kurva pertumbuhan populasi bakteri <i>Shewanella oneidensis MR-1</i> untuk variabel logam Cr	IV-5
Gambar 4.7 Kurva produksi listrik yang dihasilkan untuk variabel logam campuran Cr dan Mn.....	IV-5
Gambar 4.9 Kurva hubungan produksi listrik tertinggi yang dihasilkan dengan populasi bakteri untuk semua variabel.....	IV-6
Gambar 4.10 Kurva hasil analisa BOD ₅ pada variabel logam Mn.....	IV-8
Gambar 4.11 Kurva hasil analisa BOD ₅ pada variabel logam Cr	IV-8
Gambar 4.12 Kurva hasil analisa BOD ₅ pada variabel logam campuran Cr dan Mn	IV-9
Gambar 4.13 Kurva persen penurunan BOD ₅ untuk semua variabel.....	IV-9
Gambar 4.14 Kurva hasil reduksi logam Mn ²⁺ terhadap semua variabel bakteri.....	IV-10
Gambar 4.15 Kurva hasil reduksi logam Cr ³⁺ terhadap semua variabel bakteri	IV-11
Gambar 4.16 Kurva hasil reduksi logam Cr ³⁺ dalam variabel campuran logam Cr dan Mn terhadap semua variabel bakteri.....	IV-11
Gambar 4.17 Kurva hasil reduksi logam Mn ²⁺ dalam variabel campuran logam Cr dan Mn terhadap semua variabel bakteri.....	IV-12

DAFTAR PUSTAKA

- Artadi, A. (2007). *Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi*, JFN, 1, 2.
- Bielicka A., Bojanowska, I., Winiewski, A. 2005. *Two Faces of Chromium - Pollutant and Bioelement*. Polish Journal of Environmental Studies 14(1): 5-10.
- Du, Zhuwei, H. Li, And T. Gu. 2007. *A State Of The Art Review On Microbial Fuel Cell; A Promising Technology For Wastewater Treatment And Bioenergy*. Journal Biotechnology Advances 25. 464-482
- Gralnick A. Jeffrey dan Heidi H. Hau. 2007. *Ecology and Biotechnology of the Genus Shewanella*. Annual Review of Microbiology. 2007.61:237-58
- Idham F, Halimi S, dan Latifah S. 2009. Alternatif Baru Sumber Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Sedimen Laut Tropika Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell. Teknologi Hasil Perairan Institut Pertanian Bogor.
- Imam Kholiq, 2015, *Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi Bbm*, Jurnal Iptek Issn: 1411-7010 E-Issn: 2477-507x Vol.19 No. 2
- Liu H dan Logan BE. 2004. *Electricity Generation Using An Air Cathode Single-Chamber Microbial Fuel Cell In The Presence and Absence of Proton Exchange Membrane*, J. Environmental Science Technology 38: 4040
- Logan E. Bruce, et al. 2006. *Microbial Fuel Cells : Methodology and Technology*. Environmental Science & Technology. Vol. 40, No. 17. 2006
- Lovley, Derek R. 2008. *The microbe electric: conversion of organic matter to electricity*, Current Opinion in Biotechnology 2008, 19:564-571
- Miroliaei M.R, Abdolreza Samimi, Davod Mohebbi-Kalhari. 2015. *Competition Between E. Coli and Shewanella s. for Electricity in Air Cathode MFC in Presence of Methylene Blue as Artificial Mediator*. Environmental Progress & Sustainable Energy. Vol. 34 No. 4. 2015
- Miroliaei M.R, Abdolreza Samimi, Davod Mohebbi-Kalhari. 2014. *Kinetics Investigation of Diversity Cultures of E.coli and Shewanella sp., and their Combined Effect with Mediator on MFC Performance*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry.
- Novitasari, Deni. 2011. *Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell Untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacillus bulgaricus*, Skripsi, Fakultas Teknik Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia

- Pant, Deepak, Van Bogaert, Gilbert, Diels, Ludo, Vanbroekhoven, Karolien. (2010). *A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production*, Bioresource Technology, 101, 1533-1543.
- Rabaey K, Boon N, Siciliano SD, Verhaege M, dan Verstaete W. 2003. *Biofuel cell select for microbial consortia that self-mediate electron transfer*. J. Applied Environmental Microbiology 70: 5373-5382.
- Rabaey K, Boon N, Siciliano SD, Verhaege M, dan Verstaete W. 2003. *Biofuel cell select for microbial consortia that self-mediate electron transfer*. J. Applied Environmental Microbiology 70: 5373-5382.
- Ramya N, Renganathan K, S Barathi, Venkatraman. K. 2013. *Performance of Salt-Bridge Microbial Fuel Cell at Various Agarose Concentrations Using Hostel Sewage as Substrate*. International Journal of Advancements in Research & Technology,
- Rozendal, R. A., Hamelers, H. V. M. & Buisman, C. J. N. 2006. *Effects of Membrane Cation Transport on pH and Microbial Fuel Cell Performance*. Journal Environmental Science Technology, Vol. 40, No.17, 5206–5211.
- Sidharta ML, dkk. 2007. *Pemanfaatan Limbah Cair sebagai Sumber Energi Listrik pada Microbial Fuel Cell*. Institut Teknologi Bandung.
- Shopia, A. Carmalin, Saikanth Sai, 2016, *Modified Microbial Fuel Cell For Cr(VI) reduction and simultaneous bio-electricity production*, Journal of Enviromental Chemical Engineering 4 (2402 – 2409)
- Tahmineh R. Eliato, Gholamreza Pahzuki, Nasrollah Majidian, 2016, *Potassium permanganate as an electron receiver in microbial fuel cell*, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Enviromental Effects 2016 Vol. 38, No. 5, 644-651
- Venkateswaran K, et al. 1999. *Polyphasic taxonomy of the genus Shewanella and description of Shewanella oneidensis sp. nov.* International Journal of Systematic Bacteriology (1999), 49, 705-724
- Zahara, Nova Chisilia, 2011, *Pemanfaatan Saccharomyces cerevisiae Dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Zhang, G.D., Jiao, Y., Lee, D.J, Xavenias 2015. *A lab-scale anoxic/oxic-bioelectrochemical reactor for leachate treatments*. Bioresour.Technol. 186, 97_105.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Konsentrasi Krom (Cr) dan Mangan (Mn) di lingkungan semakin meningkat dengan meningkatnya jumlah industri. Peningkatan konsentrasi krom dan mangan di lingkungan ini akibat penggunaannya dalam proses penyepuhan, pengecatan, penghambatan korosi, pembuatan baja, serta pemakaian fungisida. Pencemaran lingkungan oleh logam berat mendapat perhatian besar karena merupakan polutan yang bersifat toksik, baik pada hewan maupun tumbuhan dan berpotensi menimbulkan kerusakan ekosistem bila konsentrasinya melebihi batas ambang. Sifat toksik diantaranya ditentukan oleh bentuk ion krom dan konsentrasinya. Krom dan Mangan serta bentuk-bentuk turunannya yang terdapat di alam terutama berasal dari kegiatan antropogenik seperti emisi dari industri, proses-proses pembakaran dan lain-lain (Bielicka dkk., 2005).

Logam berat, termasuk kromium (Cr) dan Mangan (Mn) merupakan zat pencemar yang umumnya sangat reaktif dan bersifat toksik bagi manusia sehingga termasuk ke dalam golongan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Cr (VI) secara alami dapat ditemukan dalam batuan, hewan, tumbuhan, tanah, abu atau gas vulkanik, dan dari berbagai aktivitas manusia seperti kegiatan penambangan (Kromit dan batubara) serta limbah hasil kegiatan industri seperti industri cat, baja, tekstil, kulit, semen, keramik, dan kertas.

Logam kromium (Cr) merupakan salah satu contoh logam berat. Logam kromium (Cr) terdiri atas ion logam Cr (VI) dan ion logam Cr (III). Ion logam Cr(VI) dimungkinkan dalam bentuk dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), hidrokromat (HCrO_4) atau kromat (CrO_4^{2-}) sedangkan ion logam Cr(III) dalam bentuk kromium valensi tiga berhidrat (*hydrated trivalent chromiun*), $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ dan kompleks hidoksida kromium ($\text{Cr}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$ atau $\text{Cr}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4^+$). Adanya dua keadaan oksidasi dari Cr tersebut mengakibatkan perbedaan toksisitas dan karakteristik transport. Ion logam Cr(VI) adalah sangat toksik serta kelarutan dalam air tinggi sedangkan ion logam Cr(III) adalah kurang toksik dan kelarutan dalam air rendah.

Mangan terdapat dalam bentuk kompleks dengan bikarbonat, mineral dan organik. $\text{Mn}(\text{OH})_2$ dan MnCO_3 relatif sulit larut didalam air, tetapi untuk senyawa

seperti garam MnSO_4 , MnCl_2 dan $\text{Mn(NO}_3)_2$ mempunyai kelarutan yang besar dalam air. Mn^{2+} adalah bentuk mangan berupa garam dan memiliki kelarutan yang tinggi dalam air, kecuali bentuk fosfat dan karbonatnya. Umumnya bentuk Mn^{2+} ditemukan berikatan dengan senyawa lain, misalnya MnF_2 , MnCl_2 , MnBr_2 , dan MnI_2 . Jika berikatan dengan ion OH^- akan membentuk Mn(OH)_2 , yaitu gelatin berwarna putih. Sering juga ditemukan dalam bentuk MnO dan MnS . Mn^{2+} memiliki sifat yang mirip dengan Mg^{2+} dan berperan dalam beberapa molekul biologi tubuh manusia.

Pengolahan limbah logam Cr (VI) dan Mn (VII) merupakan tantangan di bidang air dan pengolahan air limbah. Pengolahan limbah logam Cr (VI) dan Mn (VII) dalam air limbah industri dapat dilakukan dengan berbagai proses kimiafisik seperti adsorpsi, sedimentasi, pemisahan elektrokimia, pertukaran ion, filtrasi dan proses membran, presipitasi kimia, dan ekstraksi pelarut (Sophia, 2016). Tetapi metode-metode ini juga memerlukan energi dan mungkin akan menghasilkan polutan yang lain.

Kebutuhan akan energi listrik saat ini semakin meningkat yang mengakibatkan konsumsi bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi dan gas alam ikut meningkat secara signifikan. Polutan tersebut selain mengancam manusia secara langsung, akibatnya juga dirasakan oleh lingkungan sekitarnya termasuk tumbuh-tumbuhan dan gedung-gedung (Hendrata Suhada, 2001). Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil setidaknya memiliki tiga ancaman serius, yakni: (1) Menipisnya cadangan minyak bumi yang diketahui (bila tanpa temuan sumur minyak baru), (2) Kenaikan/ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan (3) Polusi gas rumah kaca (terutama CO_2) akibat pembakaran bahan bakar fosil (Imam Kholiq, 2015).

Salah satu cara pembangkit energi alternatif yang belakangan ini marak dikembangkan oleh para ahli adalah pembangkit biolistrik berbasis *fuel cell*. Teknologi *fuel cell* (sel bahan bakar) dewasa ini masih terus berkembang pesat dan disempurnakan. Fuel cell bekerja berdasarkan prinsip pembakaran listrik-kimiawi yang mana akan memproduksi energi listrik arus searah, terdiri dari elektrolit yang memisahkan katoda dari anoda yang bertugas menghantar ion. *Fuel cell* seringkali dianggap sangat menarik dalam aplikasi modern karena efisiensi tinggi dan penggunaan bebas emisi, berlawanan dengan bahan bakar umum seperti methane atau gas alam yang menghasilkan karbon dioksida.

Microbial fuel cell adalah bioreaktor yang mengubah energi kimia senyawa organik menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik mikroorganisme dalam kondisi anaerob. *Microbial Fuel Cell* menggunakan bakteri sebagai katalis untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik serta menghasilkan arus listrik. Elektron yang dihasilkan oleh bakteri dari substrat pada anoda (terminal negatif) mengalir ke katoda (terminal positif) yang dihubungkan dengan bahan bersifat konduktif secara konvensional, arus positif mengalir dari katoda ke anoda, berlawanan dengan arah aliran elektron.

Secara umum mekanisme dari *microbial fuel cell* adalah substrat dioksidasi oleh bakteri menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Elektron ditransfer melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton didifusikan melalui larutan menuju katoda. Pada katoda, reaksi elektron dan proton terhadap oksigen akan menghasilkan air (Cheng et al. 2006). Menurut Li dkk, 2011 dalam Purnomo (2015) energi listrik yang dihasilkan pada proses pengolahan limbah menggunakan teknologi *microbial fuel cell* memiliki potensi sebagai pemasok sumber energi. Penggunaan air limbah dalam sistem *microbial fuel cell* mempunyai keuntungan tersendiri yaitu karbon organik dalam limbah cair dapat menjadi sumber karbon untuk menghasilkan energi listrik.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memanfaatkan limbah bahan organik yang belum termanfaatkan secara optimal dan mempunyai potensi sebagai bahan baku untuk menghasilkan listrik.
2. Bagaimana kondisi konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* pada sisi anoda yang paling berpengaruh untuk mereduksi logam Cr, Mn, dan campurannya pada sisi katoda dengan menggunakan *Microbial Fuel Cell (MFC)*

I.3 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari peran bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* pada pembuatan energi listrik dengan memanfaatkan limbah organik menggunakan *Microbial Fuel Cell (MFC)*.
2. Mencari konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* pada sisi anoda yang paling berpengaruh untuk mereduksi logam Cr, Mn, dan campurannya pada sisi katoda dengan menggunakan *Microbial Fuel Cell (MFC)*

I.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui peran bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* pada pembuatan energi listrik dengan memanfaatkan limbah organik menggunakan *Microbial Fuel Cell (MFC)*.
2. Dapat mengetahui konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* pada sisi anoda yang paling berpengaruh untuk mereduksi logam Cr, Mn, dan campurannya pada sisi katoda dengan menggunakan *Microbial Fuel Cell (MFC)*

I.5 Batasan Masalah

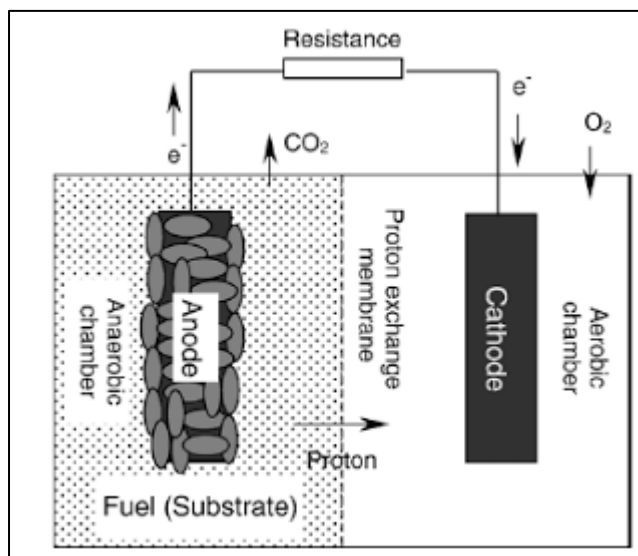
1. Reaktor yang digunakan dalam sistem *Microbial Fuel Cell (MFC)* ini adalah reaktor dual-chamber.
2. Reagen di anoda menggunakan larutan organik limbah cair tetes pabrik gula (molases) dengan perbandingan konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* 10 % ; 12,5 % ; 15 % (v/v).
3. Reagen di katoda menggunakan larutan logam Cr (VI), Mn(VII), dan campuran keduanya dengan rasio 1:0 ; 0:1 ; 1:1 (w/w).
4. Sistem penukar kation pada reaktor *Microbial Fuel Cell (MFC)* adalah jembatan garam. Jembatan garam dibentuk dengan melarutkan 10 gram agar dalam 100mL aquadest kemudian menambahkan 4 gram KCl.
5. Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis elektroda grafit silinder.
6. pH yang digunakan pada reaktor anoda adalah pH 7 dan di katoda pH 4.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 *Microbial Fuel Cell* (MFC)

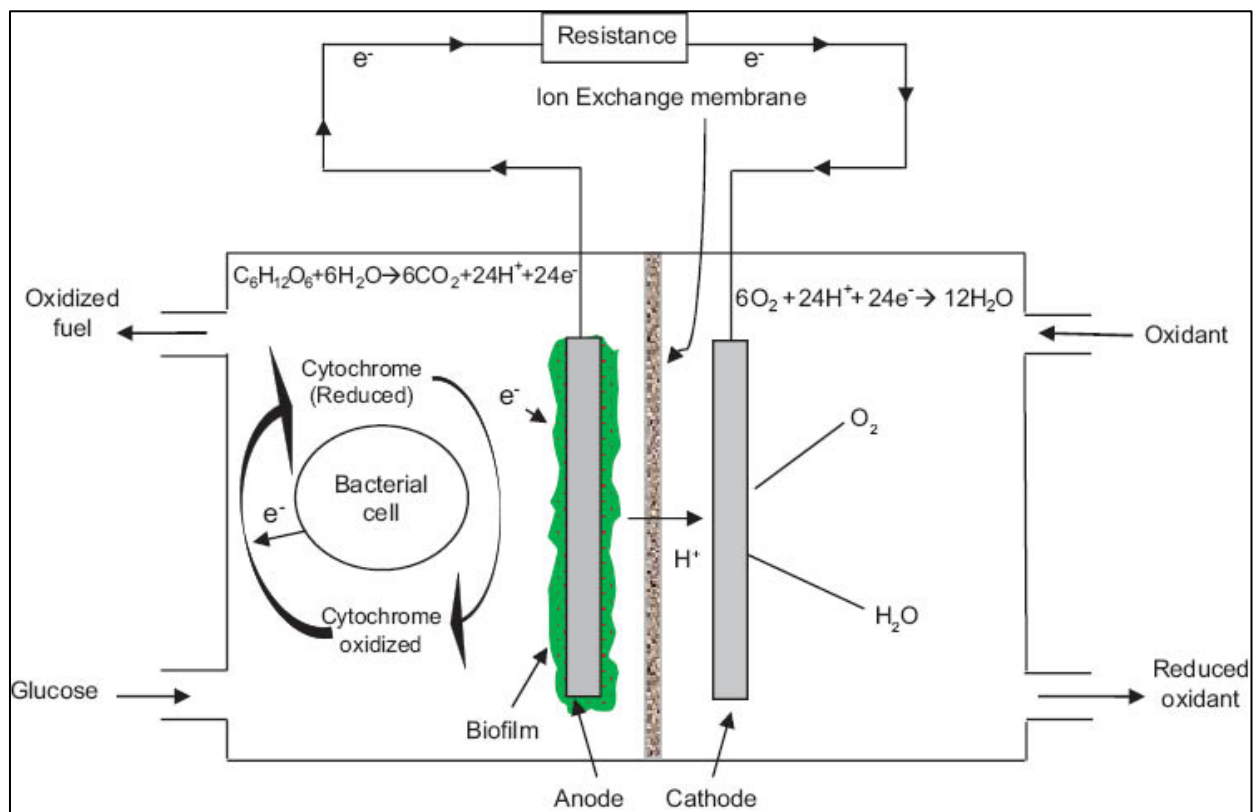
Microbial fuel cell (MFC) adalah metode memproduksi energi secara berkesinambungan dalam bentuk listrik dari bahan-bahan yang dapat didegradasi. *Microbial fuel cell* mampu mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan bantuan reaksi katalitik dari mikroorganisme (Allan dan Benneto 1993). *Microbial fuel cell* membangkitkan listrik dengan mengoksidasi bahan organik secara anaerob melalui bantuan bakteri. Penggunaan mikroba dalam *fuel cell* ini menggantikan fungsi dari enzim, sehingga dihasilkan substrat yang lebih murah (Shukla dkk. 2004). Prinsip kerja MFC mirip dengan hidrogen *fuel cell*, yaitu proton dari ruang anoda menuju ruang katoda melalui membran elektrolit dan aliran elektron yang bergerak ke arah yang sama melalui kabel konduksi. Elektron merupakan partikel subatomik yang bermuatan negatif dimana elektron ini digunakan untuk menghasilkan listrik. Elektron dihasilkan dari metabolisme secara natural yang terjadi di mikroorganisme.



Gambar 2.1 Skema MFC dengan dua elektroda

II.2 Prinsip Kerja *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Prinsip kerja *microbial fuel cell* adalah memanfaatkan mikroba yang melakukan metabolisme terhadap medium di anoda untuk mengkatalis pengubah materi organik menjadi energi listrik dengan mentransfer elektron dari anoda melalui kabel dan menghasilkan arus ke katoda.



Gambar 2.2 Sistem Kerja *Microbial Fuel Cell* (MFC)

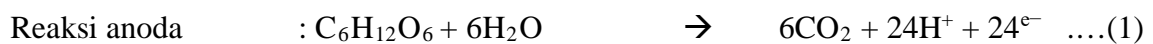
Pada gambar 2.2 menggambarkan sistem kerja MFC, dimana terjadi metabolisme substrat organik oleh mikroorganisme dan secara ekstraselular terjadi transfer elektron ke permukaan elektroda. Oksidasi dari material organik melepaskan elektron dan proton dari substrat yang teroksidasi. Elektron yang ditransfer dari anoda ke katoda melalui sebuah jaringan elektrik. Proton berpindah ke katoda dan bergabung dengan elektron dan katolite (oksigen) yang berkurang pada permukaan katoda. Aliran listrik ini dihasilkan seperti sebuah *chemical fuel cell*, tetapi aktifitas mikroba yang digunakan sebagai katalis di permukaan anoda. Secara umum, katalis dapat meningkatkan kecepatan reaksi tanpa merubah atau menerima energi dari reaksi yang dikatalisasi. Mikroba di *MFCs* bisa memperoleh semua karbon dan energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan selular dari oksidasi bahan organik kompleks.

II.3 Anoda *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Anoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi oksidasi, dan didalam sel volta anoda disebut sebagai elektroda positif. Kompartemen anoda berisi bakteri dan material organik. Material organik yang digunakan adalah glukosa, asetat, pati dan lainnya. Berdasarkan Rabaey (2003), penggunaan glukosa sebagai sumber karbon dapat meningkatkan elektrisitas hingga 89%. Selanjutnya glukosa akan terurai secara enzimatik untuk menghasilkan dua molekul piruvat yang memiliki tiga atom karbon. Proses ini

dikenal sebagai glikolisis (Zahara, 2011). Menurut Lovley (2008), asam asetat dan asam sederhana lainnya merupakan sumber elektron utama untuk menghasilkan arus. Arus listrik yang dihasilkan dari reaksi asam asetat yang terdegradasi.

Mikroba di chamber anoda mengoksidasi substrat dan menghasilkan elektron dan proton. Setelah melewati *proton exchange membrane* (PEM) atau jembatan garam, proton masuk ke chamber katoda, dimana mereka menggabungkan dengan oksigen menjadi air (H₂O) (Reddy dkk, 2010). Mikroba di chamber anoda memaksa elektron dan proton saat proses disimilasi dengan mengoksidasi substrat organik. Asumsi substrat adalah glukosa, maka reaksi yang terjadi sebagai berikut :



II. 4 Katoda *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Katoda adalah elektroda dimana akseptor elektron sedang menjalani reaksi reduksi, dan didalam sel volta katoda disebut sebagai elektroda negatif. Katoda dalam MFC berisi cairan limbah industri. Jika potensial listrik yang tersedia di permukaan elektroda katoda melebihi ambang zat teroksidasi, mereka dapat dikurangi (Nancharaiiah dkk., 2015). Pada ruang katoda dari *microbial fuel cell* terjadi reaksi reduksi, oleh karenanya banyak diaplikasikan pada pengolahan air limbah. Banyak penelitian yang mengacu dari reaksi tersebut seperti mereduksi zat organik (klorobenzen dan trikloroetilen) dan logam berat (Cr⁶⁺, Mn⁴⁺ dan Fe³⁺).

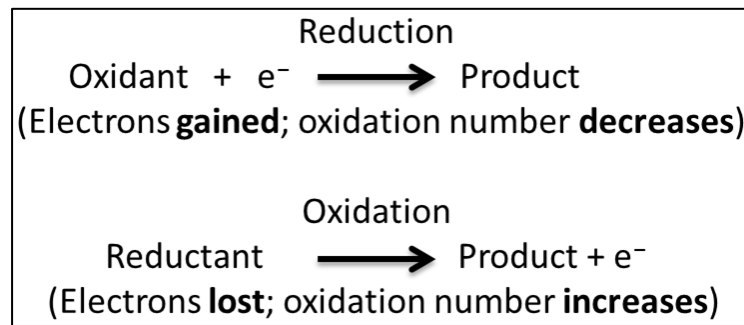
Luigi Galvani (1780) dan Alessandro Volta (1800) telah menemukan terbentuknya arus listrik dari reaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi merupakan reaksi redoks (reduksi dan oksidasi) dan alat ini disebut sel volta. Sel volta atau sel galvani adalah suatu sel elektrokimia yang terdiri atas dua buah elektrode yang dapat menghasilkan energi listrik akibat terjadinya reaksi redoks secara spontan pada kedua elektroda tersebut. Definisi deret elektrokimia atau deret volta adalah urutan logam - logam (ditambah hidrogen) berdasarkan kenaikan potensial elektrode standarnya.

Li-K-Ba-Sr-Ca-Na-Mg-Al-Mn-Zn-Cr-Fe-Cd-Co-Ni-Sn-Pb-[H]-Sb-Bi-Cu-Hg-Ag-Pt-Au

Gambar 2.3 Deret Volta

Berdasarkan pada gambar 2.3, unsur logam dengan potensial elektrode lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektrode yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam

deret tersebut, maka logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron) dan reduktor yang semakin kuat (mudah mengalami oksidasi). Sebaliknya semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut maka logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron) dan oksidator yang semakin kuat (mudah mengalami reduksi) (Artadi, 2007). Oksidasi dan reduksi tepatnya merujuk pada *perubahan bilangan oksidasi* karena transfer elektron. Sehingga oksidasi lebih baik didefinisikan sebagai *peningkatan bilangan oksidasi*, dan reduksi sebagai *penurunan bilangan oksidasi*. Reaksi redoks dapat diilustrasikan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Reaksi reduksi dan oksidasi

II.5 Substrat Dan Mikroorganisme Di *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Bakteri mampu menjadi katalis dan beradaptasi dengan baik terhadap bahan organik berbeda yang terdapat pada limbah lingkungan sehingga menghasilkan elektron. Berbagai bentuk bahan organik dapat digunakan sebagai substrat dalam *microbial fuel cell* seperti glukosa, pati, asam lemak, asam amino dan protein, serta air limbah dari manusia dan hewan (Idham, 2009).

Bakteri yang telah digunakan para peneliti dalam sistem *MFCs* adalah *Shewanella putrefaciens*, *Geobacteraceae sulfurreducens*, *Geobacter metallireducens*. Selain itu salah satu bakteri yang juga dapat menghasilkan hidrogen adalah *Escherichia coli* atau *E. coli*. Efisiensi dan kinerja dari *microbial fuel cell* dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Menurut (Rozendal dkk., 2006), dalam *microbial fuel cell* dual chamber pertumbuhan optimal bakteri membutuhkan pH netral. Menurut Liu dkk (2004), faktor-faktor yang berpengaruh antara lain kecepatan degradasi substrat, kecepatan transfer elektron bakteri ke katoda, dan transfer proton dalam larutan. Menurut Lovley (2003), kinerja *microbial fuel cell* dipengaruhi oleh aktivitas mikroba dan substrat yang digunakan.

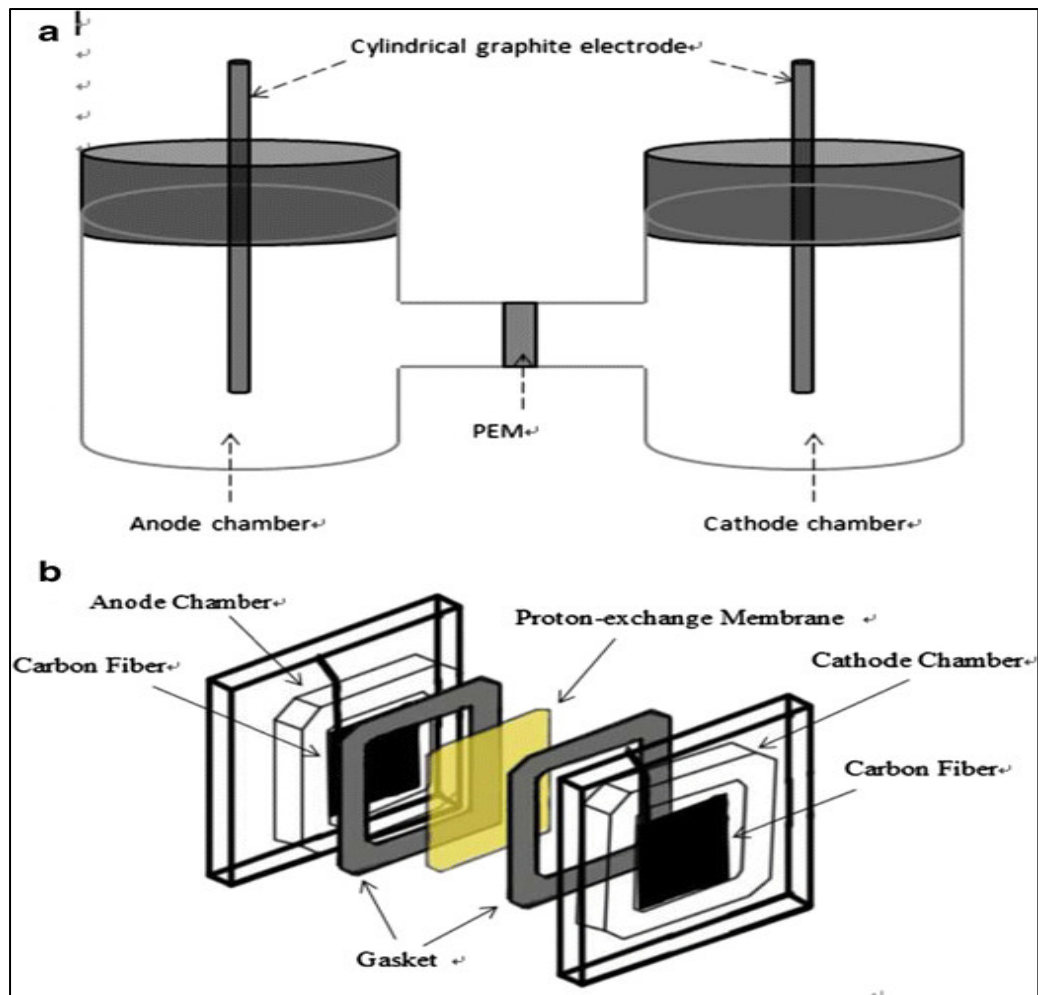
Banyak mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mentransfer elektron yang dihasilkan dari metabolisme kandungan organik ke anoda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 beserta substratnya (Pant dkk, 2010).

Tabel 2.1 Bakteri yang digunakan di MFC

Microba	Substrat	Aplikasi
<i>Escherichia coli</i>	Glukosa, sukrosa	Mediators seperti methylene blue
<i>Geobacter metallireducens</i>	Asetat	Mediator-less MFC
<i>Geobacter sulfurreducens</i>	Asetat	Mediator-less MFC
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Glukosa	Pyocyanin dan phenazine-1-carboxamide sebagai mediator
<i>Shewanella oneidensis</i>	Laktat	Anthraquinone-2,6-disulfonate (AQDS) sebagai mediator

II.6 Komponen Penyusun *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Komponen penyusun MFC terdiri dari *chamber* anoda dan katoda yang dipisahkan oleh *proton exchange membrane* (PEM) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Diagram Komponen Penyusun *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Untuk material penyusun MFC (Lovely, 2006 dan Logan dkk, 2005), dapat ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Bahan material yang digunakan untuk menyusun MFC

Komponen	Bahan Material
Anoda <i>Electrode</i>	<i>Graphite, graphite felt, carbon paper, carbon-cloth, Pt, Pt black, RVC</i>
Katoda <i>Electrode</i>	<i>Graphite, graphite felt, carbon paper, carbon-cloth, Pt, Pt black, RVC</i>
Anoda <i>Chamber</i>	<i>Glass, polycarbonate, Plexiglas</i>
Katoda <i>Chamber</i>	<i>Glass, polycarbonate, Plexiglas</i>
<i>Proton Exchange System (PEM)</i>	<i>Nafion, Ultrex, polyethylene.poly, (styrene-codivinylnbenzene); salt bridge, porcelain septum, atau solely electrolyte</i>

Grafit banyak dipakai karena relatif murah, sederhana dan memiliki luas permukaan tertentu. Area permukaan yang lebih luas diberikan oleh elektroda lelehan grafit. Tetapi tidak semua area permukaan yang terindikasi dapat digunakan oleh bakteri. Elektroda batang grafit dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Elektroda Grafit Batang Silinder

Sebelum digunakan, elektroda harus dibersihkan dan diaktifkan terlebih dahulu. Elektroda direndam dalam larutan HCl 1 molar dan NaOH 1 molar masing-masing selama 1 hari. Tujuannya adalah untuk menghilangkan kontaminasi logam dan bahan organik. Kemudian elektroda disimpan dalam *aquadest* hingga saat akan digunakan.

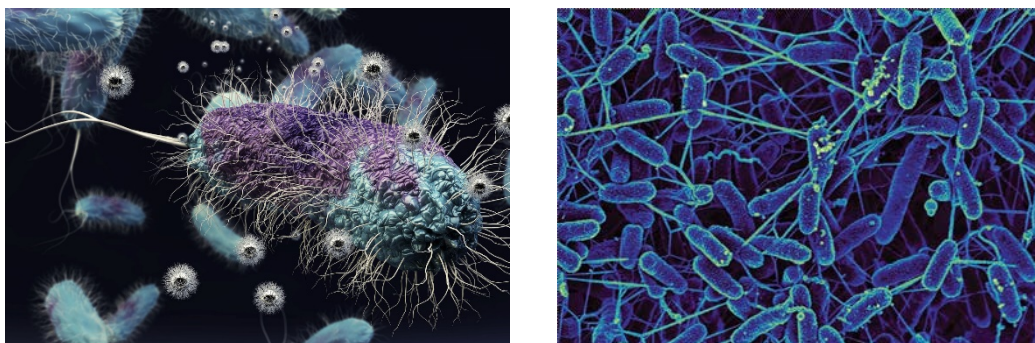
II. 7 Bakteri *Shewanella oneidensis*

Shewanella pertama kali diisolasi pada tahun 1931 sebagai salah satu dari beberapa mencemari mikroorganisme yang bertanggung jawab untuk pembusukan mentega. Anggota dari genus *Shewanella* menyusun bermacam-macam grup dari bakteri anaerob yang secara luas terdistribusi di laut dan lingkungan air tawar. Karakter khusus

dari *Shewanellae* adalah kemampuannya dalam menangkap elektron dalam kondisi kekurangan oksigen dan kemampuannya dalam bertahan hidup di berbagai macam habitat. Mereka telah diisolasi dari konsentrasi garam, suhu dan tekanan barometrik. (Gralnick dkk, 2007).

Genus *Shewanella* merupakan proteobacteria gram-negatif yang berbentuk batang dengan panjang 2 – 3 μm dan memiliki diameter 0,4 – 0,7 μm bakteri ini (Gambar II.6) merupakan bakteri anaerob fakultatif yang biasa di temukan dalm sedimen laut dan dapat berenang dengan bantuan *single polar flagellum* (Venkateswaran dkk, 1999). *Shewanella oneidensis MR-1* mampu hidup sampai dengan suhu 35°C tetapi memiliki kemampuan untuk tumbuh pada kisaran suhu yang luas, termasuk suhu mendekati nol. (Abboud dkk, 2005). Tetapi temperatur optimum mereka adalah diatas 16°C. (Gralnick dkk, 2007). Berdasarkan taksonomi dan profil pada gambar 2.6, *Shewanella oneidensis MR-1* diklasifikasikan sebagai berikut :

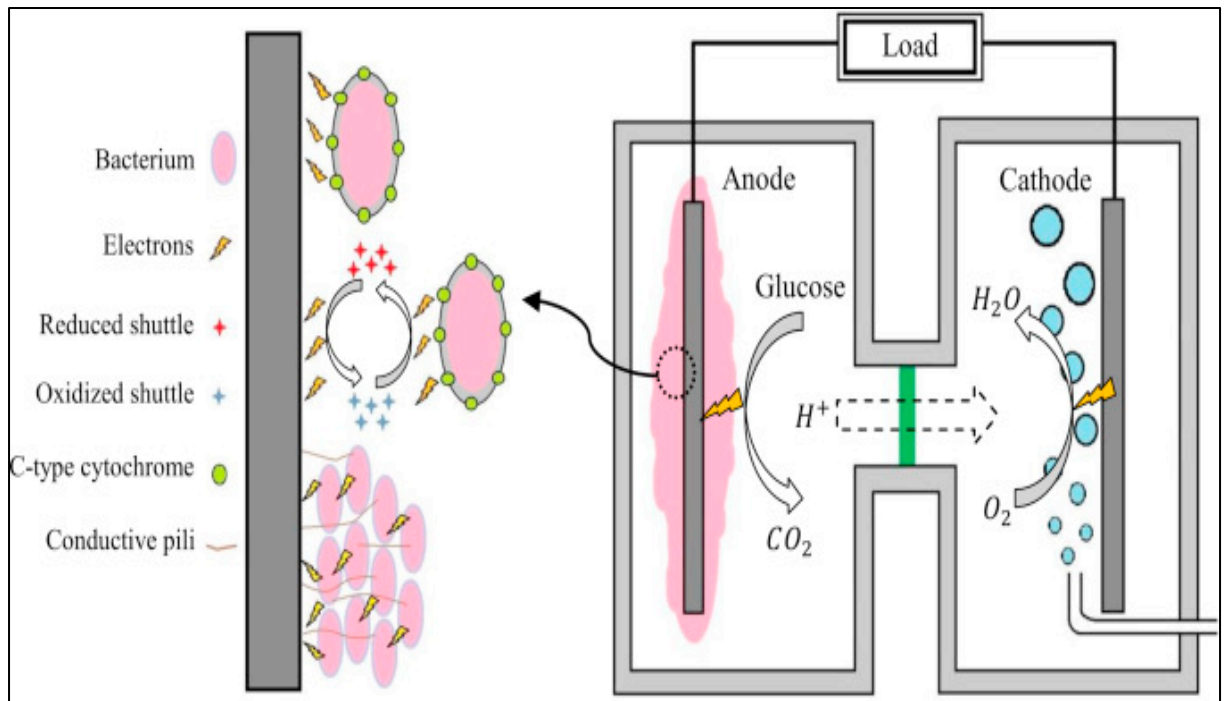
Kingdom	: <i>Bacteria</i>
Divisio	: <i>Proteobacteria</i>
Kelas	: <i>Gamma Proteobacteria</i>
Ordo	: <i>Alteromonadales</i>
Famili	: <i>Shewanellaceae</i>
Genus	: <i>Shewanella</i>
Nama Binomial	: <i>Shewanella oneidensis</i>



Gambar 2.7 Bakteri *Shewanella oneidensis*

Ciri khas dari bakteri ini yaitu *psychrotolerance* , *halophilicity* rendah dan memiliki kemampuan untuk mereduksi susunan yang tidak paralel dalam senyawa organik dan anorganik untuk respirasi. Bakteri ini mampu bernafas pada logam (Gralnick dkk., 2007). *Shewanella oneidensis MR-1* (secara umum dikenal sebagai *Shewanella putrefaciens*) adalah bakteri anaerob obligatif non-fakultatif yang ditemukan dalam bentuk endapan (Venkateswaran dkk., 1999).

Shewanella terkenal untuk keragaman terminal penangkap elektron dimana mereka dapat mereduksi dan salah satu keluarga primer dari bakteri yang digunakan dalam MFC (Logan dkk., 2006). *Shewanella* juga memiliki beberapa aplikasi dalam bidang Bioteknologi, yaitu sebagai akseptor elektron yang dapat berguna dalam *Microbial Fuel Cell* (MFC) dan Bioremediasi dari Radionuklida dan limbah dasar *toxic*. (Gralnick dkk., 2007).



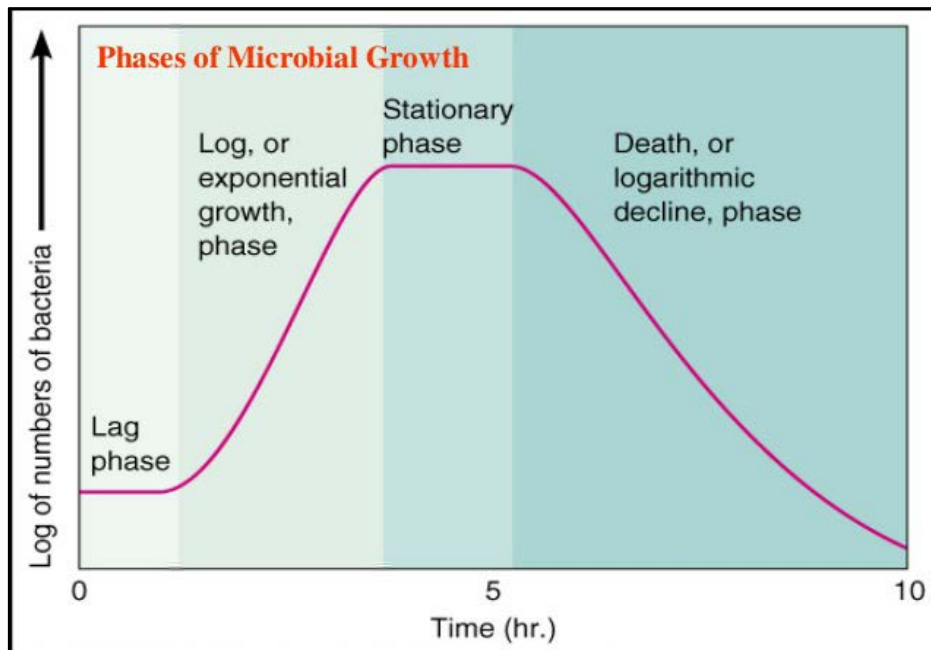
Gambar 2.8 Cara bakteri mentransfer elektron

Menurut gambar 2.8, Elektron yang dihasilkan ditransfer ke elektroda pada anoda oleh bakteri *Shewanella* dengan c-type cytochrome yang terletak pada membran terluar pada sel bakteri, kemudian dengan *conductive pili* atau biasa disebut *nanowire*, dan yang terakhir adalah dengan bantuan mediator oleh mikroorganisme itu sendiri. (Miroliaei dkk, 2015)

Shewanella merupakan bakteri fakultatif anaerob yang menggunakan lebih dari 14 terminal elektron aseptor untuk respirasi seperti oksigen, fumarat, logam seperti Cr, Fe, Mn, technetium dan uranium dalam bentuk larutan maupun padatan. Reduksi anaerobik dari elektron aseptor yang susah larut seperti Fe (III) dan Mn (IV) oksida terjadi secara ekstrasel melalui c-cytochrome yang terletak pada membran luar. (Bouheni dkk., 2009)

II.8 Kurva Pertumbuhan Bakteri.

Pada pertumbuhan sel bakteri biasanya mengikuti suatu pola pertumbuhan tertentu berupa kurva pertumbuhan sigmoid yang terlihat pada **Gambar 2.9**



Gambar 2.9 Kurva Pertumbuhan Bakteri

Menurut Deni Novitasari (2011), kurva pertumbuhan bakteri dapat dipisahkan menjadi empat fase utama. Fase-fase tersebut mencerminkan keadaan bakteri dalam kultur pada waktu tertentu. Di antara setiap fase terdapat suatu periode peralihan dimana waktu dapat berlalu sebelum semua sel memasuki fase yang baru.

❖ Fase Lag.

Pada fase ini bakteri belum melakukan pembelahan, tetapi sudah terjadi peningkatan massa volume, sintesis enzim, protein, RNA dan peningkatan aktifitas metabolik. Pada fase tersebut bakteri lebih banyak melakukan adaptasi dengan lingkungan. Fase ini, ditandai dengan peningkatan komponen makromolekul, aktivitas metabolik, dan kerentanan terhadap zat kimia dan faktor fisik.

❖ Fase Log / pertumbuhan eksponensial.

Fase dimana bakteri melakukan pembelahan secara biner dengan jumlah kelipatan (eksponensial). Pada fase ini, terjadi lonjakan peningkatan jumlah biomassa sel, sehingga bisa diketahui seberapa besar terjadi pertumbuhan secara optimal dan tingkatan produktifitas biomassa sel. Selama fase ini, metabolisme sel paling aktif dan sintesis bahan sel terjadi sangat cepat. Pada fase eksponensial

atau logaritmik, sel berada dalam keadaan pertumbuhan dimana laju pertumbuhan lebih besar daripada laju kematian.

❖ Fase Stasioner

Fase dimana bakteri sudah tidak melakukan pembelahan lagi. Pada fase stasioner, jumlah sel yang mati semakin meningkat sehingga jumlah sel hidup. hasil pembelahan sama dengan jumlah sel yang mati. Akibatnya, jumlah sel hidup konstan seolah-olah tidak terjadi pertumbuhan (pertumbuhan nol). Penyebab utama yang menyebabkan fase tersebut antara lain berkurangnya nutrisi, dan penumpukan metabolit penghambat produk akhir. Fase stasioner juga disebut *lack of biological space*

❖ Fase Kematian.

Fase kematian ditandai dengan jumlah sel yang mati lebih banyak daripada sel yang hidup. Pada saat medium kehabisan nutrisi maka populasi bakteri akan menurun jumlahnya. Pada saat ini jumlah sel yang mati lebih banyak daripada sel yang hidup.

II. 9 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh A. Carmalin Sophia, Saikanth Sai pada tahun 2016 dengan judul “Modified microbial fuel cell for Cr(VI) reduction and simultaneous bio-electricity production”, mengatakan bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* dapat mereduksi logam Cr(VI). Dengan menggunakan anoda berupa limbah cair kimia dari proses anaerobik dan katoda berupa larutan $K_2Cr_2O_7$ dengan konsentrasi 5 mgL^{-1} dan 10 mgL^{-1} . menghasilkan penurunan konsentrasi Cr (VI) sebesar 5 mg/L dan 10 mg/L menjadi $0,2\text{ mg/L}$ dan 2 mg/L . Larutan Cr dengan konsentrasi 5 mgL^{-1} dihasilkan maksimum *power density* sebesar $92,65\text{ mW/m}^2$ dan Voltase sebesar $0,35\text{ V}$, untuk Larutan Cr dengan konsentrasi 10 mgL^{-1} dihasilkan maksimum *power density* sebesar $75,08\text{ mW/m}^2$ dan Voltase sebesar $0,103\text{ V}$.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Tahmineh Rahmani Eliato, Gholamreza Pazuki, Nasrollah Majidian pada tahun 2016 dengan judul “Potassium Permanganate as an Electron Receiver In A Microbial Fuel Cell” dengan menggunakan katoda berupa larutan $KMnO_4$ dan anoda berupa limbah cair kimia dari proses anaerobik dengan konsentrasi $400\text{ }\mu\text{M}$ dihasilkan *power density* sebesar $93,13\text{ mW/m}^2$ dan *COD removal* sebesar 51%.

Penelitian yang dilakukan oleh Ramya Nair, Renganathan.K, S.Barathi, Venkatraman.K pada tahun 2013 dengan judul “Performance of Salt-Bridge Microbial Fuel Cell at Various Agarose Concentration using Hostel Sewage Waste as Substrate” membandingkan konsentrasi agar pada masing masing variabel. Didapatkan hasil arus listrik (I) dan voltase (V) meningkat sebanding dengan meningkatnya konsentrasi. Konsentrasi optimum terjadi pada variabel konsentrasi 10% yang menghasilkan I sebesar 0,97 mA dan V sebesar 0,95 dengan maksimum power density sebesar 78,21 mW/m²

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada bulan September 2017 – Desember 2017. Penelitian yang dilaksanakan meliputi : 1) Perancangan reaktor microbial fuel cell, 2) Persiapan bakteri, 3) Persiapan reagen di katoda 4) Proses bio-listrik pada *microbial fuel cell* 5) Analisa pH, produksi listrik, kandungan Cr(VI) dan Mn(VII) yang tereduksi.

III.1 Kondisi Operasi

- Suhu = 20 – 30°C
- Tekanan = 1 atm
- Waktu = 12 hari
- Elektroda = Grafit (karbon aktif) silinder
Diameter 0,5 cm ; Tinggi 4,5 cm
- pH di larutan anoda = 6 - 7
- Jenis bakteri di anoda = *Shewanella oneidensis MR-1*
- Larutan buffer pH 4 di katoda = Larutan Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$) 0,1 M dan
Larutan Sodium Sitrat ($C_6H_5O_7Na_3$) 0,1 M
- Konsentrasi larutan Cr(VI) = 8 mg/L + larutan buffer
- Konsentrasi larutan Mn(VII) = 8 mg/L + larutan buffer
- Konsentrasi larutan campuran Cr(VI) + Mn(VII) = 8 mg/L + larutan buffer
- Volume larutan di anoda dan katoda = 800 mL

III.2 Variabel Percobaan

- Konsentrasi bakteri = 10 %; 12,5%; 15% (v/v).
Bakteri dimasukkan ke dalam anoda ketika berada di fase log dengan mengondisikan jumlah sel minimal 10^6 sel / ml
- Rasio logam Cr : Mn = 1:0 ; 0:1 ; 1:1 (w/w)

III.3 Bahan, Alat dan Skema Alat Penelitian

1. Bahan Penelitian

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

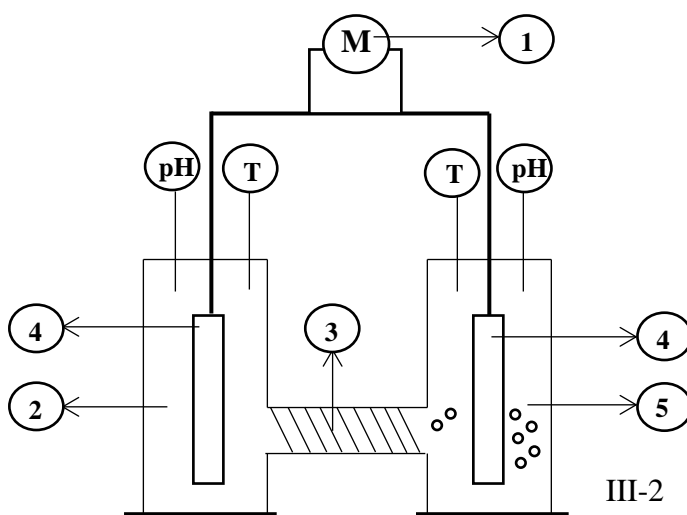
- Aquadest
- Biakan bakteri *Shewanella oneidensis MR-1*
- HCl 1M dan NaOH 1M
- Padatan kalium klorida (KCl)
- Agar batang
- Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$) 0,1 M
- Na_2HPO_4 (Disodium fosfat)
- Natrium Sitrat atau Sodium sitrat ($Na_3C_6H_5O_7$) 0,1 M
- Padatan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$)
- Padatan Kalium Permanganat ($KMnO_4$)
- Limbah pabrik gula (Molasses)
- Yeast extract, Pepton, NB
- NaH_2PO_4 (Monosodium fosfat)

2. Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Counting chamber
- Rak tabung reaksi dan tabung reaksi
- Pipet tetes
- Erlenmeyer
- Gelas Beker
- Gelas Ukur
- Autoclave
- pH meter
- Air Pump
- Thermometer
- Multimeter (voltmeter dan amperemeter)
- Mikroskop

3. Skema Alat Penelitian

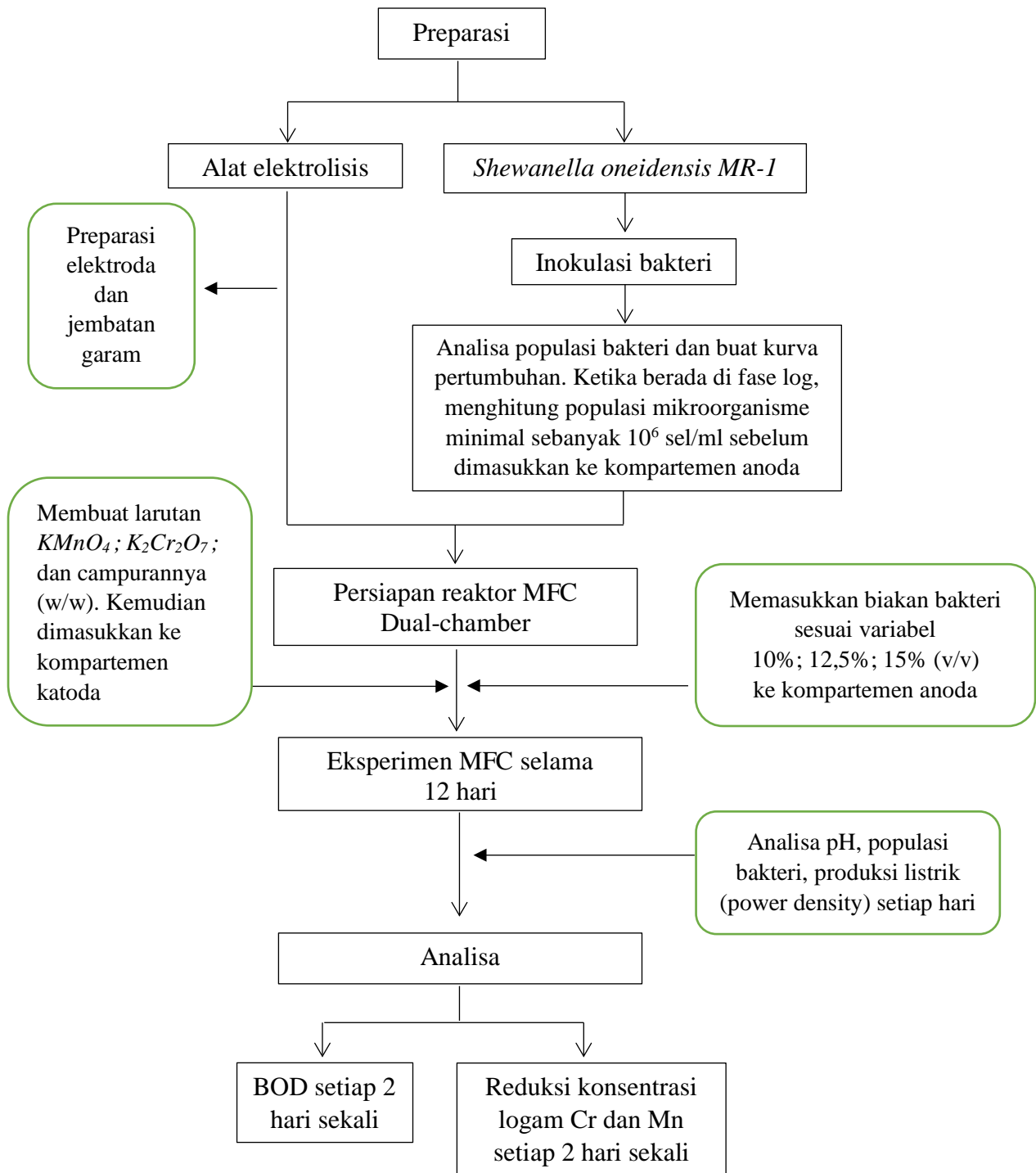


Keterangan gambar :

1. Multimeter (Voltmeter/Amperemeter)
2. Ruang Anoda (anaerob) (bakteri dan limbah organik)
3. Jembatan garam
4. Elektroda
5. Ruang Katoda (aerob)
6. Aerator

Gambar 3.1 Rangkaian alat *microbial fuel cells*

III.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir *microbial fuel cells*

III.5 Prosedur Penelitian

1. Persiapan Penelitian

a. Pembuatan larutan buffer sitrat pH 4

Membuat larutan asam sitrat 0,1 M (21,04 g Asam sitrat dalam 1L aquades) dan larutan sodium sitrat 0,1 M (29,41 g Sodium sitrat / Natrium sitrat dalam 1L aquades). Lalu mencampur (33 mL larutan asam sitrat 0,1 M) + (17 mL larutan sodium sitrat 0,1 M) dan dilarutkan aquadest sampai volume mencapai 100 mL.

b. Pembuatan larutan buffer fosfat pH 7

Menimbang NaH_2PO_4 sebanyak 0,4063 gram dan Na_2HPO_4 sebanyak 0,9247 gram. Kemudian melarutkan semua dalam 500 mL aquadest.

c. Pembuatan larutan logam Cr(VI) atau Mn (VII)

Larutan Cr(VI) atau Mn (VII) 8 mg/L untuk 800ml dibuat dengan menghitung kebutuhan kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) atau kalium permanganat (KMnO_4) secara kuantitas. Kemudian melarutkan kedalam 400 mL aquadest dan menambahkan 400 ml larutan buffer sitrat pH 4.

d. Pembuatan Media Cair dan Biakan Bakteri

Mensterilkan erlenmeyer kedalam autoklaf kemudian didinginkan. Membuat media cair dengan bahan yeast extract, pepton, dan padatan nutrient broth masing-masing 1 gr kemudian melarutkan dalam beaker glass berisi 1L aquadest yang dipanasi hingga mendidih. Setelah media cair dingin lalu dituangkan kedalam erlenmeyer steril, kemudian menginkubasi bakteri menggunakan jarum ose kedalam erlenmeyer, tutup bagian atas erlenmeyer menggunakan kapas steril dan diinkubasi hingga fase log.

e. Preparasi aktivasi elektroda

Elektroda grafit silinder direndam ke dalam larutan HCl 1M selama 1 hari kemudian dibilas dengan menggunakan aquades. Lalu rendam di larutan NaOH 1M selama 1 hari, setelah itu rendam dalam aquades hingga saat akan digunakan (Novitasari, 2011).

f. Pembuatan jembatan garam

Melarutkan 10 gram agar batang dalam 100 mL air, kemudian menambahkan 4 gram kalium klorida. Memanaskan hingga mendidih, lalu dinginkan. Masukkan cairan agar tersebut kedalam selang / pipa, tunggu hingga agar padat. Kemudian menghubungkan jembatan garam dengan kompartemen anoda dan katoda

2. Proses eksperimen

a. Proses eksperimen *microbial fuel cells*

- 1) Ruang katoda dan anoda dipisahkan menggunakan jembatan garam seperti pada gambar III.1.
- 2) Ruang katoda diisi dengan larutan Cr(VI); Mn(VII); dan campuran keduanya.
- 3) Pada ruang anoda diisi dengan larutan organik berupa limbah pabrik gula (tetes) dan diinjeksi mikroorganisme *Shewanella oneidensis MR-1* ketika berada di fase log dengan mengondisikan jumlah sel minimal 10^6 sel / ml sebanyak variabel percobaan (10% ; 12,5% ; 15% (v/v)).
- 4) Kemudian elektroda dipasang di masing-masing ruang dan dihubungkan dengan rangkaian kabel seperti pada gambar 3.1
- 5) Diamati nilai arus listrik dan tegangan yang tertera pada layar digital multimeter hingga stabil dan dicatat. Kemudian menghitung *power density* dengan persamaan (3).

b. Pengambilan sampel

Pengambilan sampel dilakukan per 24 jam kemudian di analisa produksi listrik, pH dan populasi bakterinya.

III. 6 Tahap Analisa Proses

a. Analisa pH

Pengukuran pH menggunakan pH meter

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter yang dimasukkan ke dalam ruang katoda dan anoda.

b. Analisa produksi listrik

Multimeter digital dihubung pada kedua elektroda, dengan kutub positif di katoda dan kutub negatif di ruang anoda. Pembacaan tegangan dan arus listrik dicatat setiap 24 jam. Dari data kuat arus dan tegangan, dapat diperoleh nilai *power density* (mW/m^2), yaitu daya per satuan luas permukaan elektroda.

Power density dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Momoh et al, 2010)

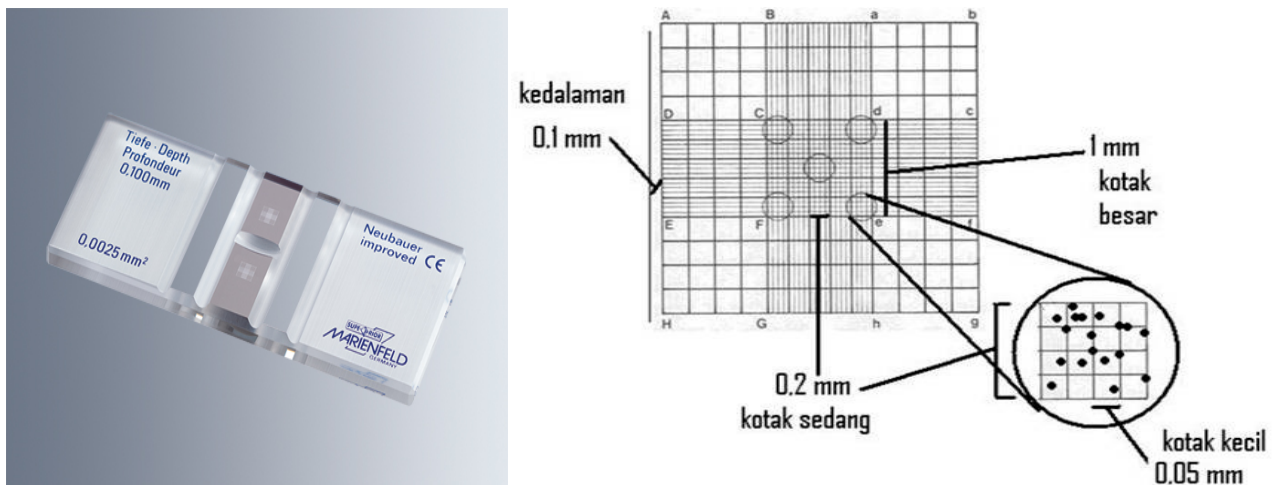
$$\text{Power density} \left(\frac{mW}{m^2} \right) = \frac{I (mA) \times V (Volt)}{A (m^2)}$$

Dimana I sebagai kuat arus, V sebagai beda potensial dan A adalah luas permukaan elektroda.

c. Analisa Populasi bakteri

Analisa populasi bakteri menggunakan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Diencerkan 0,1 mL sampel dengan aquades 9,9 mL (pengenceran 10 kali)
- 2) Teteskan ke permukaan *counting chamber* hingga dapat menutupi seluruh permukaannya.
- 3) Letakkan *haemocytometer* dibawah lensa mikroskop untuk dihitung jumlah selnya.
- 4) Dilakukan pengamatan di mikroskop dengan perbesaran 400 kali



Gambar 3.3 Hemasitometer (*Counting Chamber*)

Cara perhitungan populasi bakteri

- Dihitung jumlah sel yang terlihat di masing masing bagian hemasitometer sebanyak 3 kali
- Hitung jumlah sel rata – rata = $\frac{\text{Jumlah total sel yang terlihat}}{3}$
- Hitung jumlah sel per $mm^3 = \text{jumlah sel rata rata} \times \frac{1}{\frac{1}{25}} \times \frac{1}{0,1}$
- Hitung jumlah sel sebenarnya
 $= \text{jumlah sel per } mm^3 \times \text{faktor pengenceran}$

d. Analisa BOD

Pengukuran kebutuhan oksigen kimiawi (BOD) mengacu pada SNI 06-SNI 6989.72:2009 “Cara Uji BOD dengan Refluks Tertutup secara Spektrofotometri”

e. Analisa Kandungan Cr

Pengukuran logam Krom berkisar antara 0,2-10,0 mg/L pada panjang gelombang 357,9 nm, mengacu pada SNI 06-6989.17-2004.

f. Analisa Kandungan Mn

Pengukuran logam Mn berkisar antara 0,1-10,0 mg/L pada panjang gelombang 279,5 nm, mengacu pada SNI 06-6989.5-2004.

III. 7 Rencana Jadwal Kegiatan

Tabel 3.1. Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian Tahun 2017-2018

No	Kegiatan	Mei	Juni	Juli	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	Studi Literatur								
2	Persiapan Bahan dan Rangkai Alat								
3	Penelitian								
4	Analisis Hasil Eksperimen								
5	Pengerjaan Laporan								

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

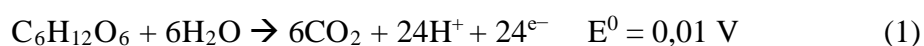
IV.1 Prinsip Kerja *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Penelitian ini menggunakan reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC) tipe *dual chamber*. *Chamber* pertama adalah kompartemen anoda kondisi anaerob, yang berisi limbah organik pabrik gula (molases) dengan konsentrasi 5% sebagai substrat, selain itu biakan bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 konsentrasi sesuai variabel sebagai penghasil elektron, dan larutan buffer fosfat pH 7 sebagai pengondisi netral untuk perkembangan bakteri. *Chamber* kedua adalah kompartemen katoda kondisi aerob dengan aerasi menggunakan *air pump*, *chamber* ini berisi limbah logam berat dengan konsentrasi sesuai variabel, dan larutan buffer sitrat pH 4 sebagai pengondisi asam optimum untuk mereduksi konsentrasi logam berat. Volume masing-masing *chamber* adalah 800 ml dan dipasang elektroda grafit silinder yang sebelumnya diaktivasi untuk meregenerasi elektroda dan menghilangkan kontaminasi logam dan bahan organik. Kemudian dipasang kabel yang dihubungkan dengan alat pengukur *power density* (multimeter), lalu kedua *chamber* dihubungkan menggunakan jembatan garam. Reaktor beroperasi selama 12 hari yang dapat dilihat pada gambar 4.1. Parameter yang dianalisa dan dihitung setiap hari yaitu produksi listrik yang dihasilkan (*power density*), dan jumlah populasi bakteri. Sedangkan parameter yang dianalisa dan dihitung setiap dua hari yaitu reduksi BOD, serta reduksi konsentrasi logam berat Cr^{3+} dan Mn^{2+} .

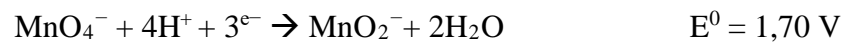


Gambar 4.1 Reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC) *dual chamber*

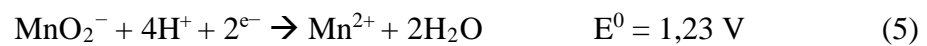
Prinsip kerja *microbial fuel cell* pada penelitian ini yang pertama, terjadi penguraian substrat dan degradasi senyawa organik di kompartemen oleh bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 sehingga menghasilkan elektron dan proton dengan reaksi :



Kemudian terjadi mekanisme perpindahan proton dan elektron berdasarkan prinsip kerja sel volta. Elektron berpindah dari kompartemen anoda menuju kompartemen katoda karena adanya beda potensial listrik melalui elektroda dan kabel sehingga menghasilkan energi biolistrik. Di kompartemen katoda elektron bereaksi dengan ion dikromat atau ion permanganat dan tereduksi menjadi ion Cr^{3+} atau Mn^{2+} dengan reaksi (2) di katoda, reaksi (3) untuk reduksi Cr, dan reaksi (4) serta (5) untuk reduksi Mn :



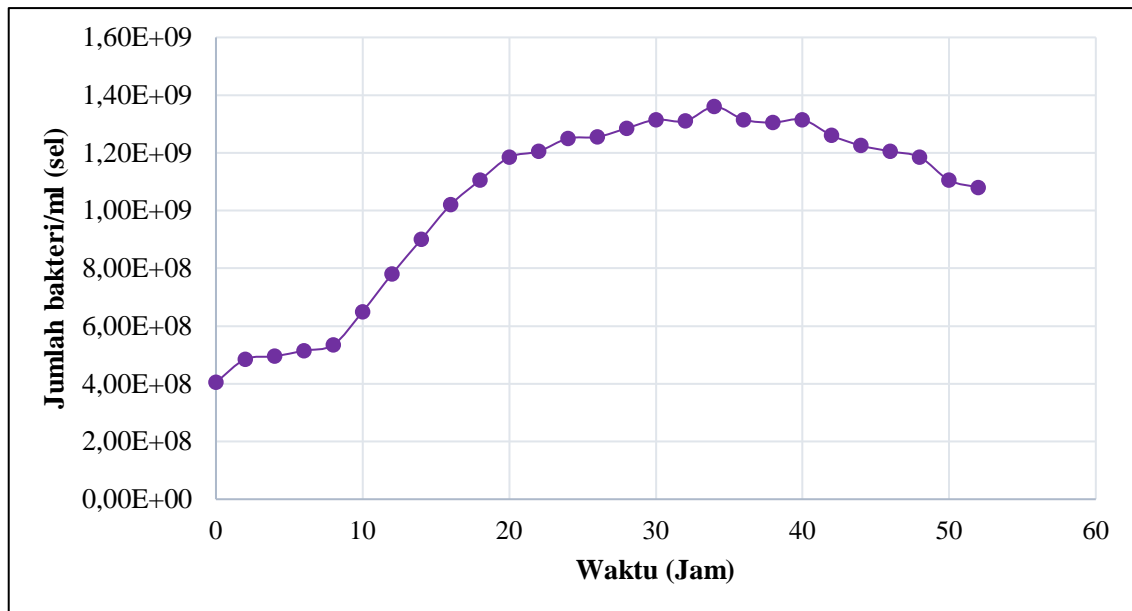
(4)



Untuk membuat seimbang muatan akibat elektron yang berpindah maka dari jembatan garam ion Cl^- dari masuk ke kompartemen anoda, dan ion K^+ masuk ke kompartemen katoda untuk membuat seimbang kadar ion dikromat atau permanganat yang tereduksi. Kemudian Ion H^+ dari kompartemen anoda bergerak ke kompartemen katoda untuk menggantikan ion K^+

IV.2 Prinsip Kerja Bakteri

Penelitian ini menggunakan biakan bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* dengan konsentrasi 10% ; 12,5% ; 15% (v/v) yang diinjeksi ke kompartemen anoda ketika bakteri berada di fase log sebagai waktu awal penelitian serta mengondisikan jumlah sel minimal 10^6 sel / ml. Pada fase log, bakteri sangat aktif bermetabolisme sehingga diharapkan banyak proton dan elektron yang dihasilkan.



Gambar 4.2 Kurva pertumbuhan bakteri *Shewanella oneidensis MR-1*

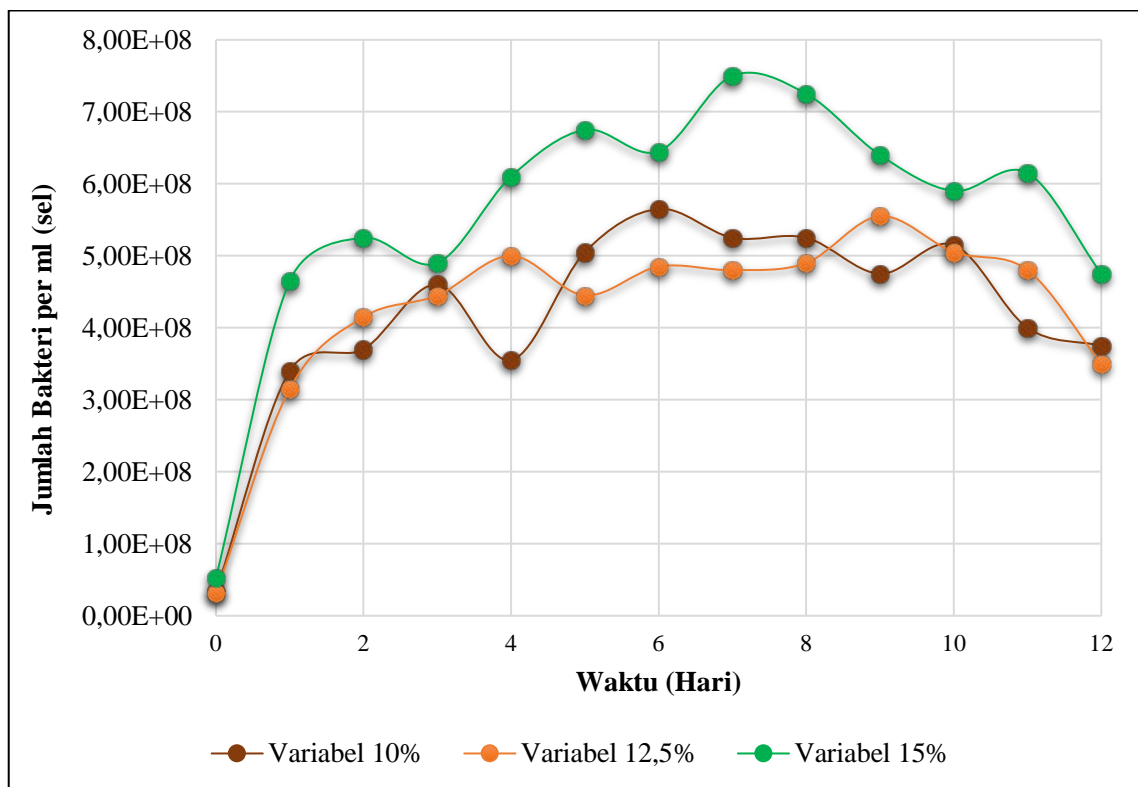
Dari Gambar 4.2, fase log untuk bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* terjadi pada jam ke 8 hingga jam ke 20, maka bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* dimasukkan ke dalam kompartemen anoda setelah 8 jam inkubasi. Prinsip kerja bakteri menghasilkan proton dan elektron yaitu pertama terjadi proses glikolisis dimana glukosa akan terurai secara enzimatik untuk menghasilkan dua molekul piruvat yang memiliki tiga atom karbon. Bakteri akan memetabolisme glukosa untuk menghasilkan ATP. Elektron yang dihasilkan dalam proses metabolisme tersebut selanjutnya diberikan kepada NAD^+ dan direduksi menjadi NADH, yaitu koenzim yang berperan sebagai pembawa elektron pada proses metabolisme tingkat sel. Pada rantai transfer elektron yang terjadi di membran plasma bakteri, NADH akan teroksidasi membentuk NAD^+ dan elektron. Kemudian melalui elektroda, elektron ditransfer ke katoda melalui kabel tembaga, sementara proton berdifusi melalui jembatan garam (*proton exchange membran*).

IV.3 Produksi Listrik yang dihasilkan dengan Populasi Bakteri

Besarnya energi listrik pada sistem MFC dipengaruhi oleh laju metabolisme yang dilakukan oleh bakteri. Kehadiran bakteri pada proses ini menjadi sangat penting karena elektron dihasilkan oleh proses metabolisme bakteri. Listrik dapat mengalir karena elektron berpindah dari anoda ke katoda akibat adanya beda potensial. Berikut adalah gambar 4.3 kurva hasil produksi listrik yang dihasilkan dan gambar 4.4 merupakan kurva populasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* untuk variabel logam Mn

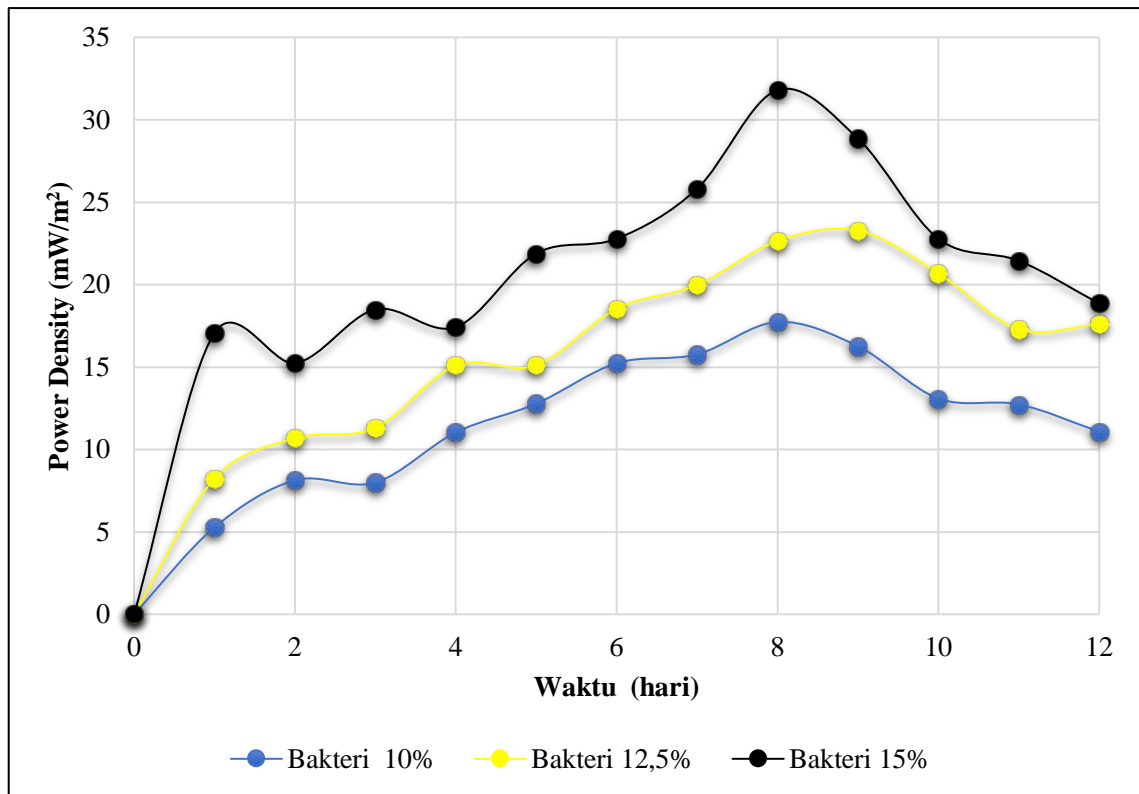


Gambar 4.3 Kurva produksi listrik yang dihasilkan untuk variabel logam Mn

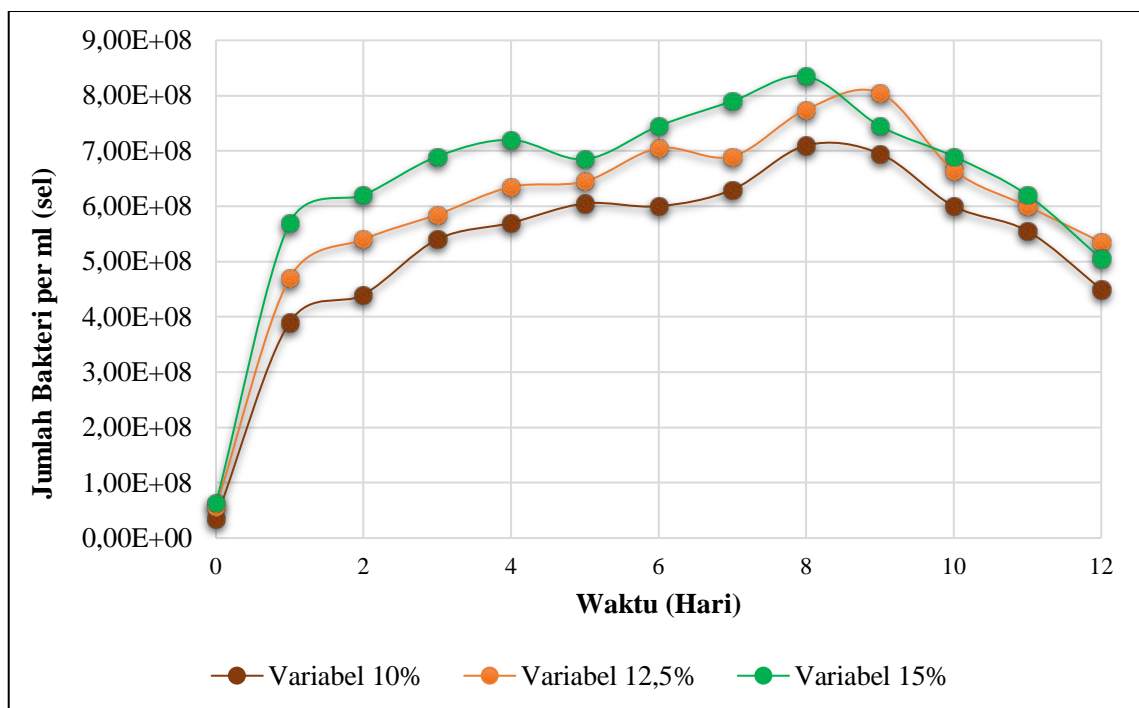


Gambar 4.4 Kurva pertumbuhan populasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 untuk variabel logam Mn

Pada gambar 4.5 merupakan kurva hasil produksi listrik yang dihasilkan dan gambar 4.6 untuk kurva populasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 dengan variabel logam Cr

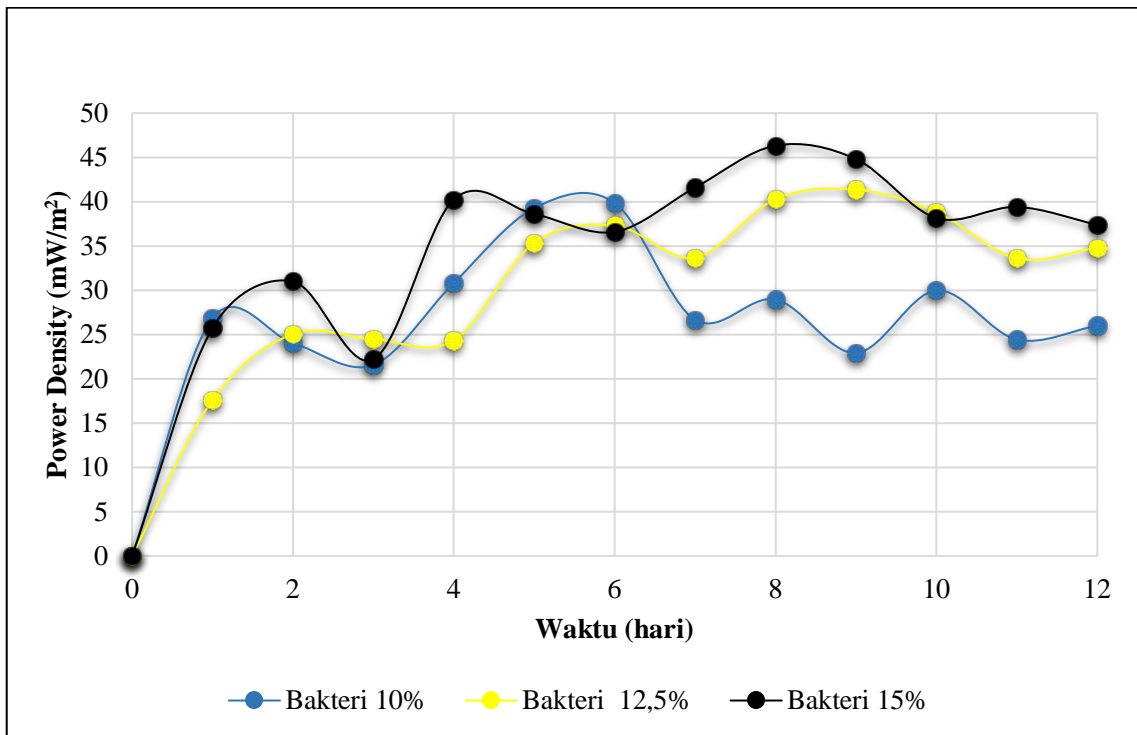


Gambar 4.5 Kurva produksi listrik yang dihasilkan untuk variabel logam Cr

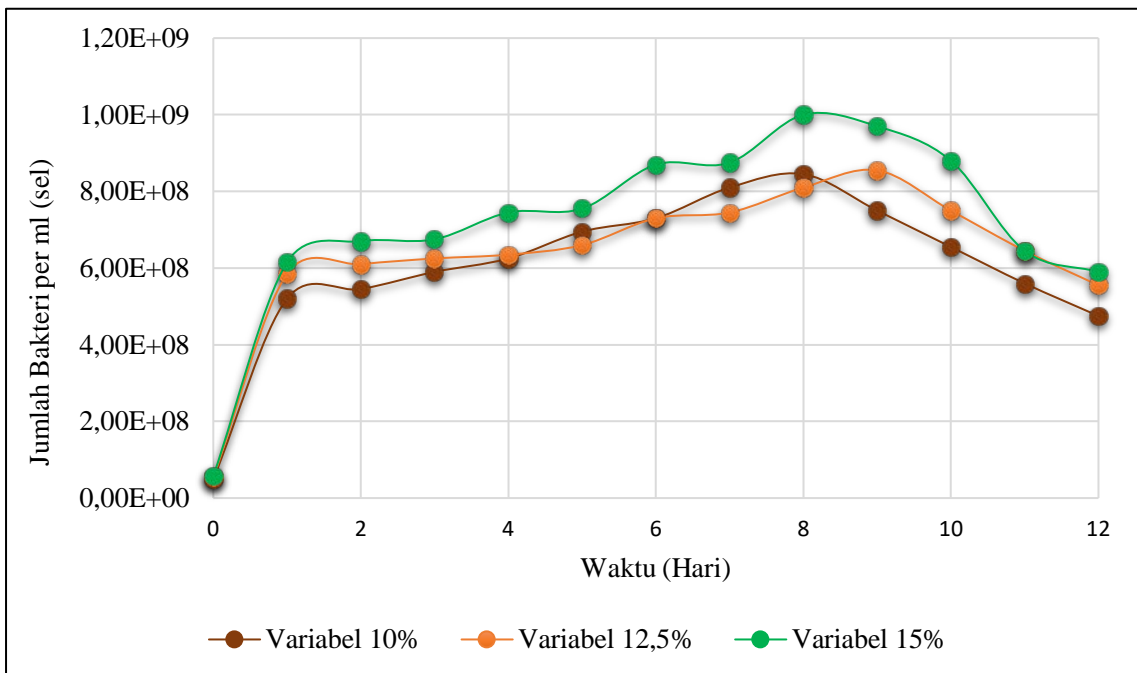


Gambar 4.6 Kurva pertumbuhan populasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 untuk variabel logam Cr

Pada gambar 4.7 ditunjukkan kurva hasil produksi listrik yang dihasilkan dan gambar 4.8 berupa kurva populasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 untuk variabel logam campuran Cr dan Mn.

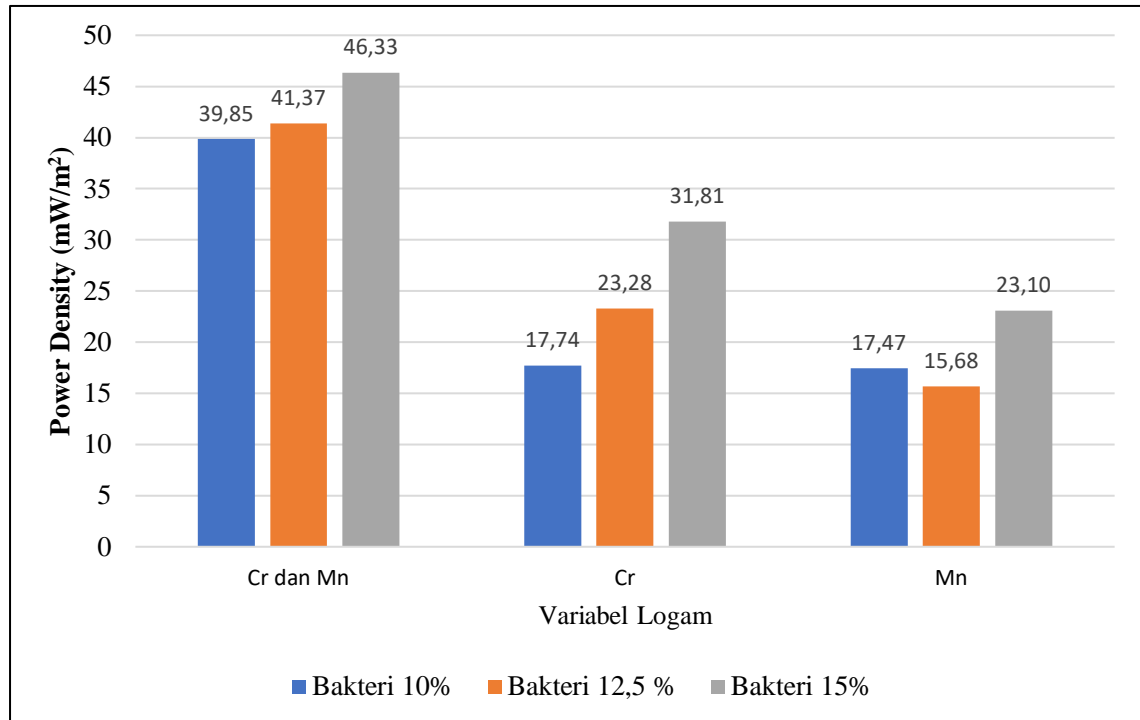


Gambar 4.7 Kurva produksi listrik yang dihasilkan untuk variabel logam campuran Cr dan Mn.



Gambar 4.8 Kurva pertumbuhan populasi bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 untuk variabel logam campuran Cr dan Mn.

Dari Gambar 4.3 hingga Gambar 4.8 dapat terlihat bahwa populasi bakteri akan berbanding lurus dengan produksi listrik yang dihasilkan. Dari semua variabel logam, didapatkan hubungan produksi listrik tertinggi yang dihasilkan pada masing masing variabel dengan populasi bakteri seperti pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Kurva hubungan produksi listrik tertinggi yang dihasilkan dengan populasi bakteri untuk semua variabel

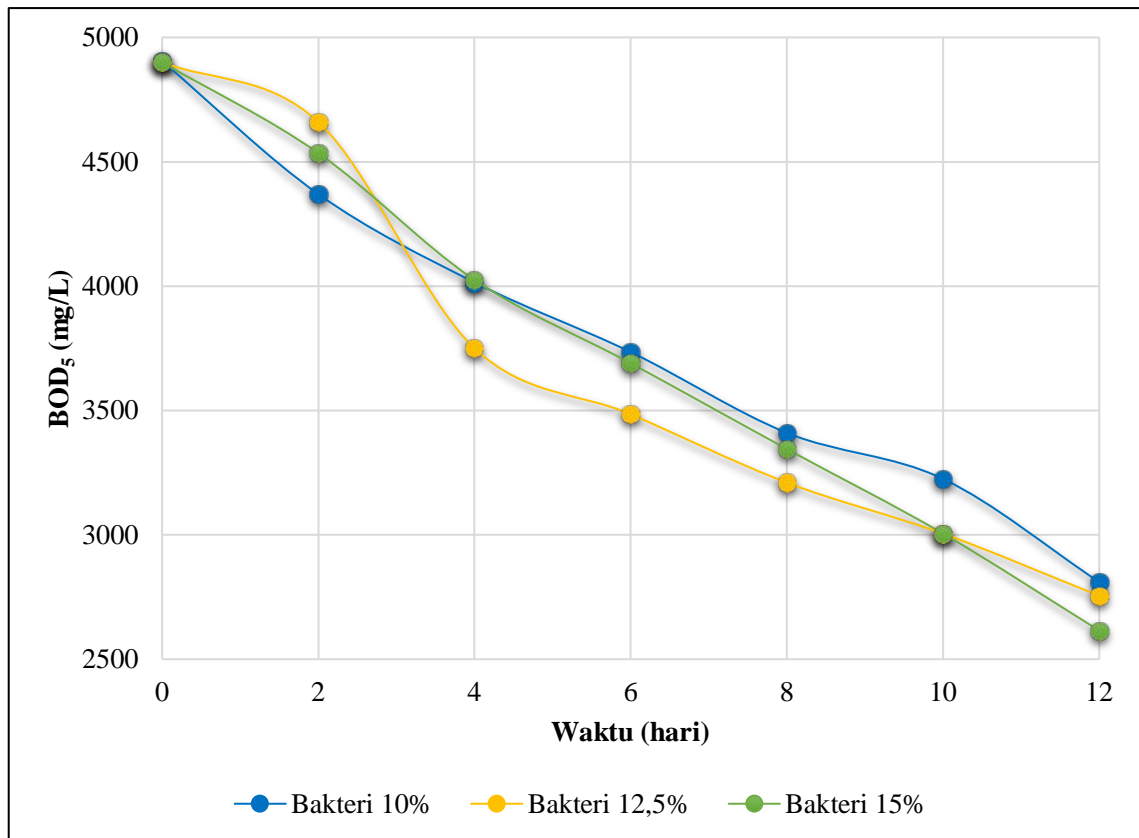
Besarnya produksi listrik dalam reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC) dipengaruhi oleh laju metabolisme yang dilakukan oleh bakteri *Shewanella oneidensis MR-1*. Berdasarkan Gambar 4.9 hasil produksi listrik yang dihasilkan tertinggi pada variabel logam campuran Cr dan Mn untuk variabel konsentrasi bakteri 15%. Mengacu pada gambar 4.7 produksi listrik tertinggi yang dihasilkan ketika hari ke -8 yaitu sebesar 46,33 (mW/m²). Seiring dengan berjalannya waktu produksi listrik yang dihasilkan mengalami kenaikan, karena bakteri masih aktif memetabolisme dan tersedianya sumber energi pada konsentrasi substrat untuk dikonsumsi oleh bakteri sebagai sumber energi untuk menghasilkan elektron dan proton. Semakin banyak konsentrasi awal bakteri, maka semakin banyak elektron dan proton yang dihasilkan.

Pada hari ke-9 dapat dilihat pada Gambar 4.9 terjadi kecenderungan penurunan produksi listrik yang dihasilkan, karena unsur karbon dalam substrat sebagai sumber energi bagi mikroba mulai berkurang dan tidak adanya tambahan substrat makanan bagi bakteri, hal ini menyebabkan terjadinya perebutan makanan pada sel bakteri dan tidak

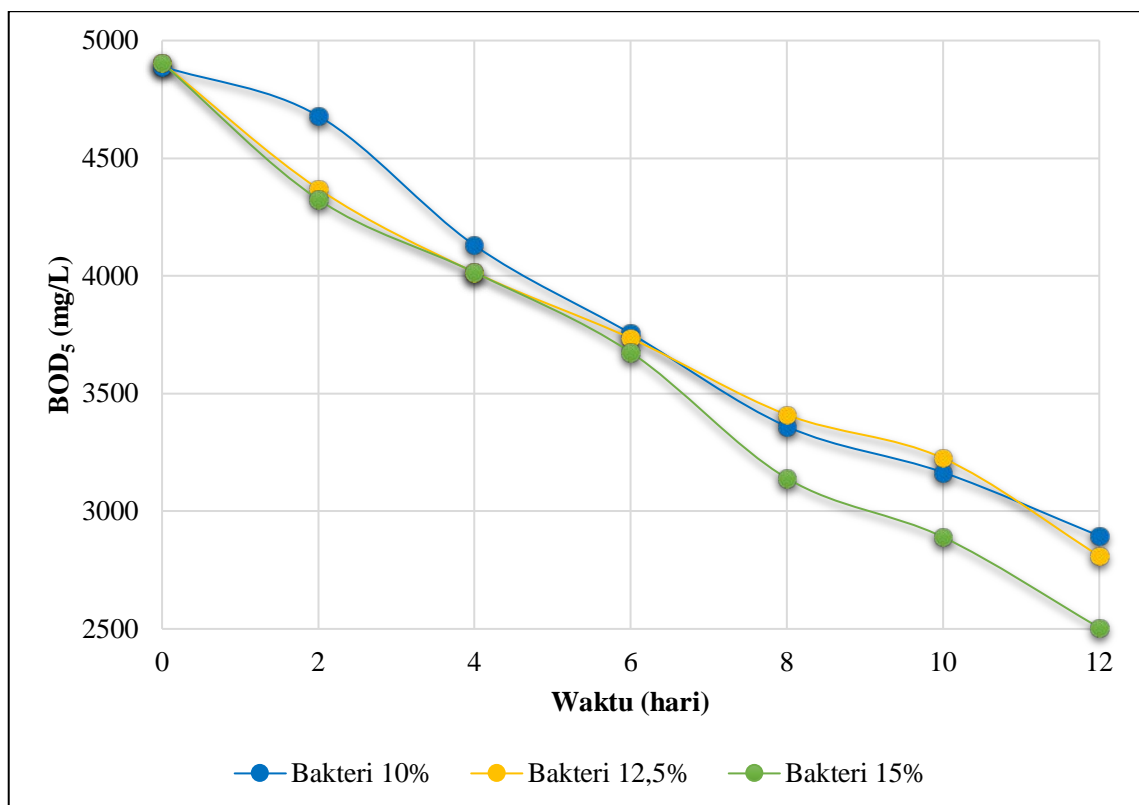
dapat melakukan metabolisme secara maksimal. Sehingga hasil metabolisme bakteri berupa elektron dan proton menurun dan berdampak pada penurunan produksi listrik yang dihasilkan. Selain itu penurunan produksi listrik yang dihasilkan juga dapat disebabkan oleh biofilm yang terbentuk pada dinding elektroda. Biofilm akan menghambat sel bakteri untuk mentransfer elektron karena bakteri dapat mati dilapisan dalam atau luar biofilm tersebut. Substrat juga tidak mampu untuk menembus biofilm sehingga bakteri yang terdapat pada lapisan dalam biofilm tidak mendapatkan bahan makanan.

IV.4 Hubungan BOD (*Biological Oxygen Demand*) terhadap Populasi Bakteri

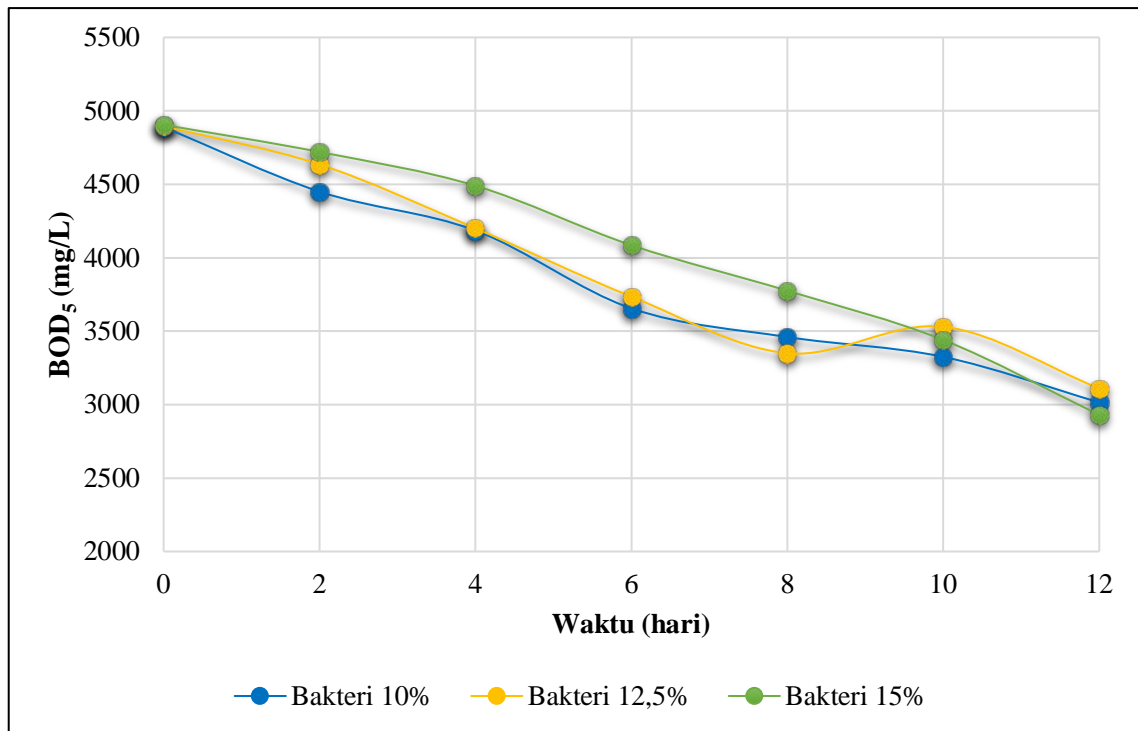
BOD merupakan parameter pengukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk bermetabolisme dan mendegradasi zat organik terlarut yang mampu didegradasi olehnya, biasanya dinyatakan dengan BOD₅. Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah, jika suatu badan air tercemar oleh zat organik maka bakteri akan memanfaatkan oksigen terlarut dalam air selama proses *biodegradable* berlangsung, sehingga dapat mengakibatkan semakin menurunnya kadar oksigen terlarut dan menimbulkan kematian pada biota air karena kondisi air menjadi anaerobik yang ditandai dengan timbulnya bau busuk. Hubungan BOD₅ dari substrat limbah organik (molases) terhadap populasi bakteri per satuan waktu untuk semua variabel dapat dilihat pada gambar 4.10 hingga gambar 4.12



Gambar 4.10 Kurva hasil analisa BOD₅ pada variabel logam Mn

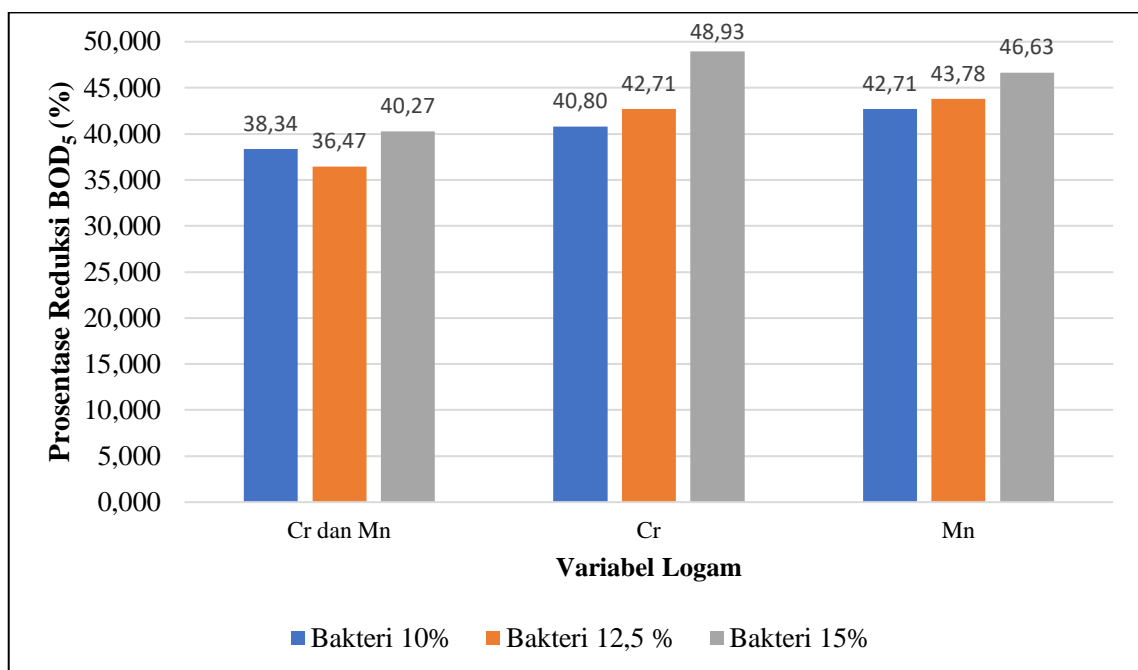


Gambar 4.11 Kurva hasil analisa BOD₅ pada variabel logam Cr



Gambar 4.12 Kurva hasil analisa BOD₅ pada variabel logam campuran Cr dan Mn

Berdasarkan gambar 4.10 hingga 4.12 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya populasi bakteri maka terjadi penurunan konsentrasi BOD₅ terhadap waktu. Pada gambar 4.13 didapatkan hubungan prosentase reduksi konsentrasi BOD₅ terbesar pada masing masing variabel dengan populasi bakteri sebagai berikut



Gambar 4.13 Kurva prosentase penurunan BOD₅ untuk semua variabel

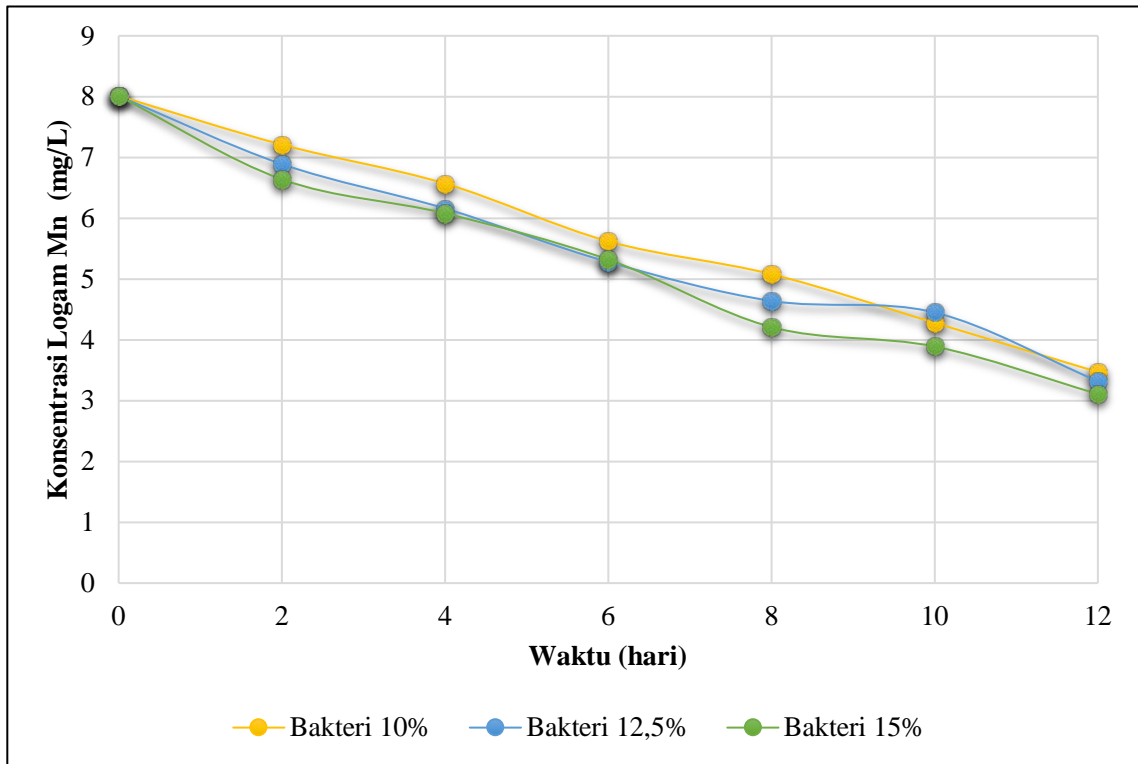
Berdasarkan gambar 4.10 hingga 4.12 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai BOD₅ terhadap waktu. Penurunan konsentrasi BOD₅ pada masing-masing variabel dipengaruhi oleh proses metabolisme dari bakteri yang semakin menurun selama proses pengolahan limbah. Hal ini dikarenakan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik semakin berkurang. Pada bioreaktor tersebut tidak ada penambahan nutrisi dari substrat (molases) sehingga seiring dengan waktu, mikroorganisme akan bertambah sedangkan substrat akan berkurang (Sundstrom, 1979).

Pada gambar 4.13, prosentase penurunan kadar BOD₅ paling besar adalah 48,93% pada variabel logam Cr dengan konsentrasi bakteri 15%, karena populasi bakteri yang terus meningkat maka jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri (BOD) juga akan semakin besar. Hal ini menunjukkan semakin besar populasi bakteri maka jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri (BOD) juga semakin banyak serta semakin banyak pula bahan organik yang terdekomposisi oleh bakteri karena pada saat itu mikroorganisme memanfaatkan bahan organik untuk didekomposisi. Populasi bakteri terbesar terdapat pada variabel campuran logam Cr dan Mn dengan konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* 15%, yang seharusnya mampu untuk mereduksi BOD terbanyak. Namun dengan konsentrasi bakteri yang banyak membuat prosentase penurunan BOD semakin kecil, karena terdapat faktor yang mempengaruhi diantaranya yaitu faktor kanibalisme bakteri akibat dari menipisnya sumber energi dan faktor pengikatan ion Na karena sifat bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* obligatif non-fakultatif (tidak menghasilkan spora untuk berkembang biak tetapi mampu bertahan dalam kondisi ekstrim). Pengikatan ion Na terjadi dari perlakuan mengkondisikan pH di kompartemen anoda yang semakin asam menjadi kondisi pH netral dengan cara menambahkan larutan NaOH.

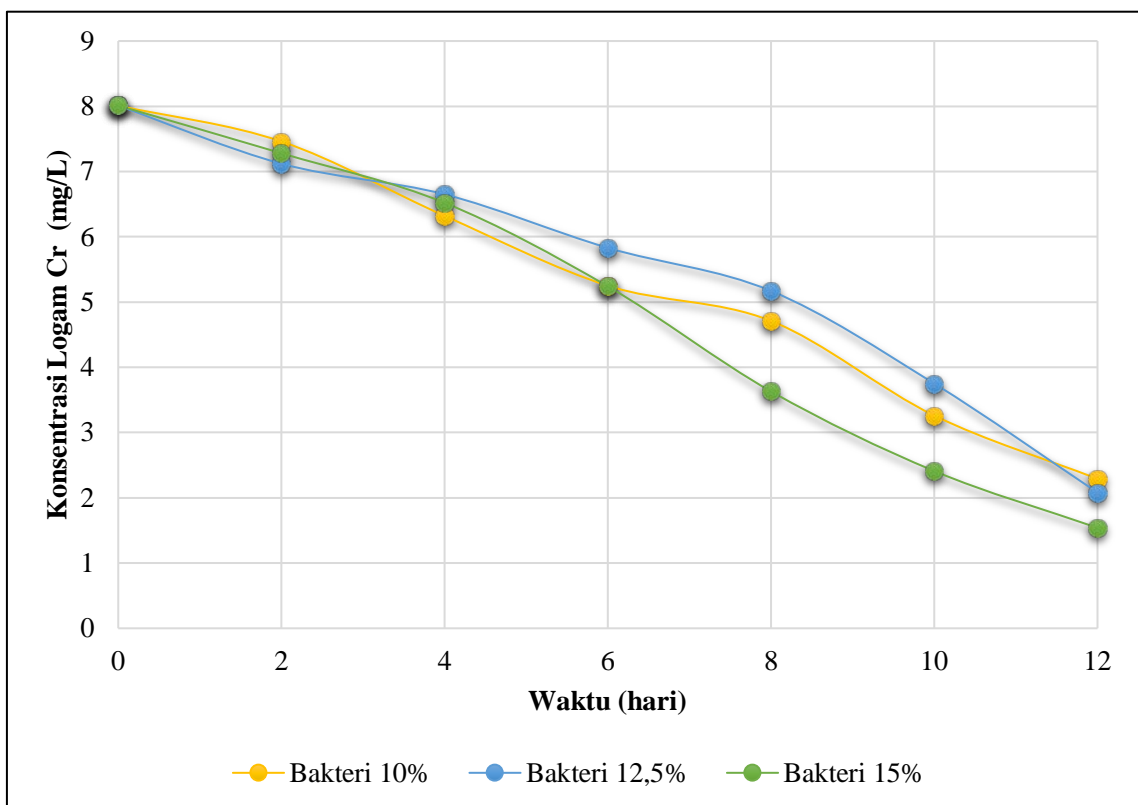
IV.5 Reduksi Konsentrasi Logam Cr, Mn, dan Campuran Keduanya

Microbial Fuel Cell (MFC) dikembangkan untuk mengolah limbah yang menghasilkan produksi biolistrik dan pengolahan reduksi konsentrasi logam berat secara bersamaan. Penelitian yang sedang dilakukan memanfaatkan hasil proses metabolisme bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* berupa proton dan elektron di ruang anoda yang akan berpindah ke kompartemen katoda dan bereaksi dengan logam Cr(VI), Mn(VII), dan campuran keduanya dan tereduksi menjadi Cr(III) dan Mn(II) di kompartemen katoda.

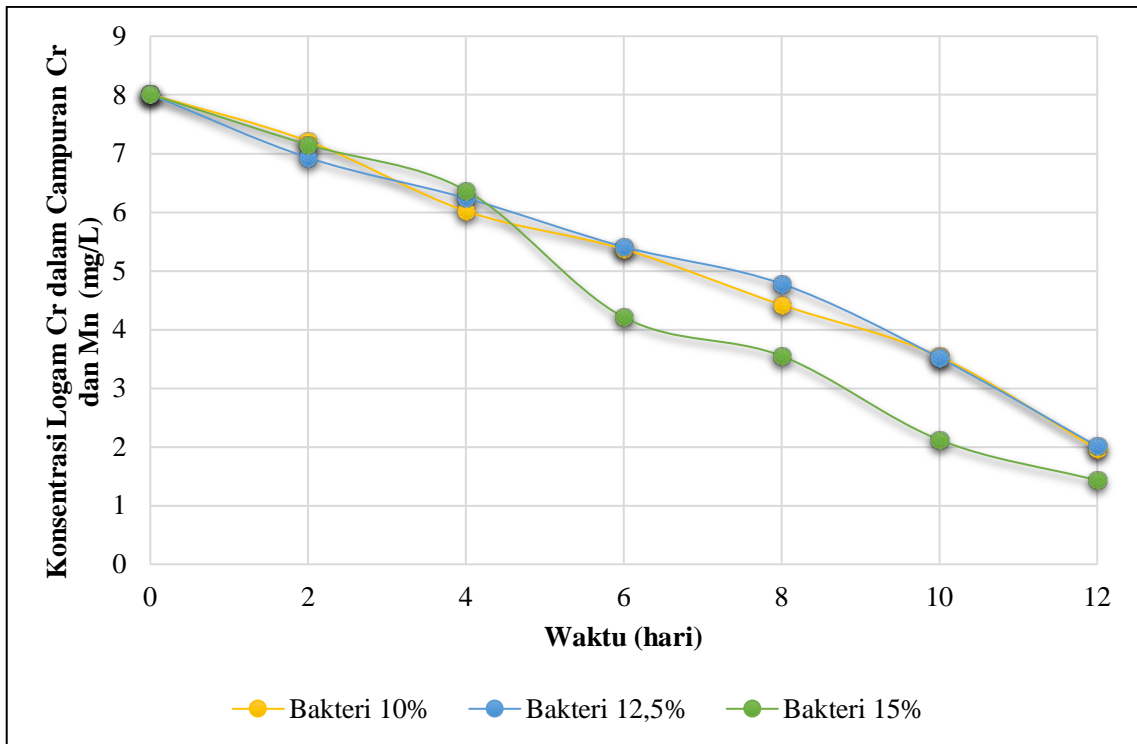
Pada gambar 4.14 hingga 4.17 menunjukkan kurva hasil reduksi untuk semua variabel logam terhadap semua variabel bakteri.



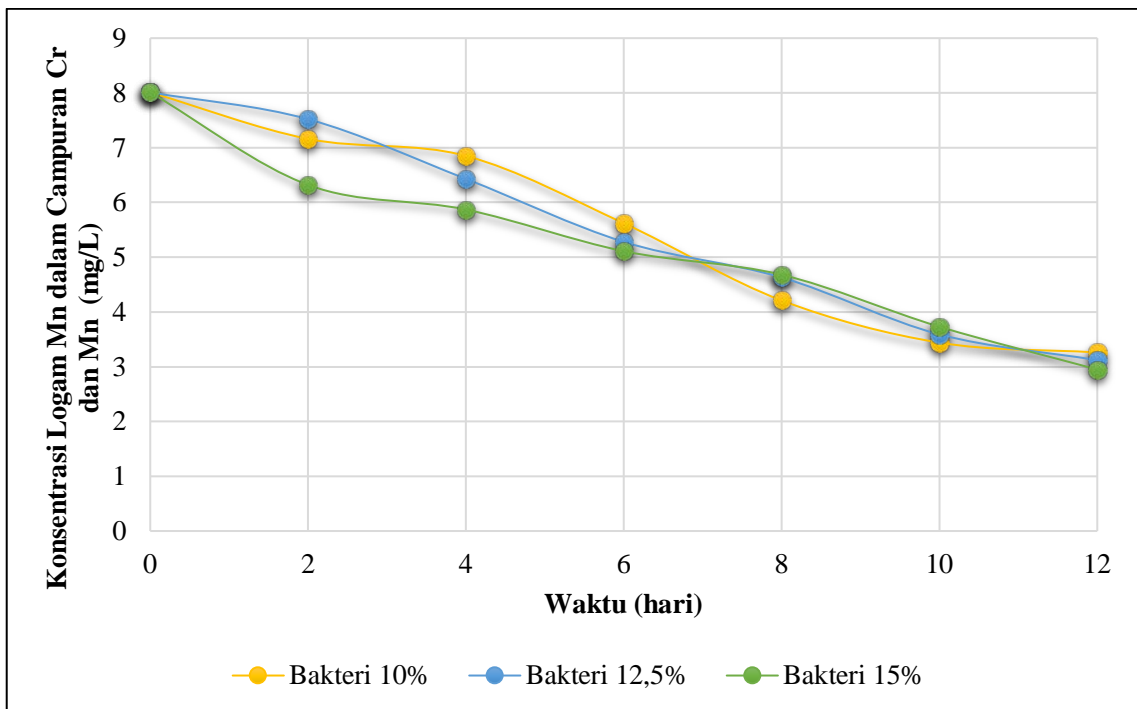
Gambar 4.14 Kurva reduksi konsentrasi logam Mn^{2+} terhadap semua variabel bakteri



Gambar 4.15 Kurva reduksi konsentrasi logam Cr^{3+} terhadap semua variabel bakteri

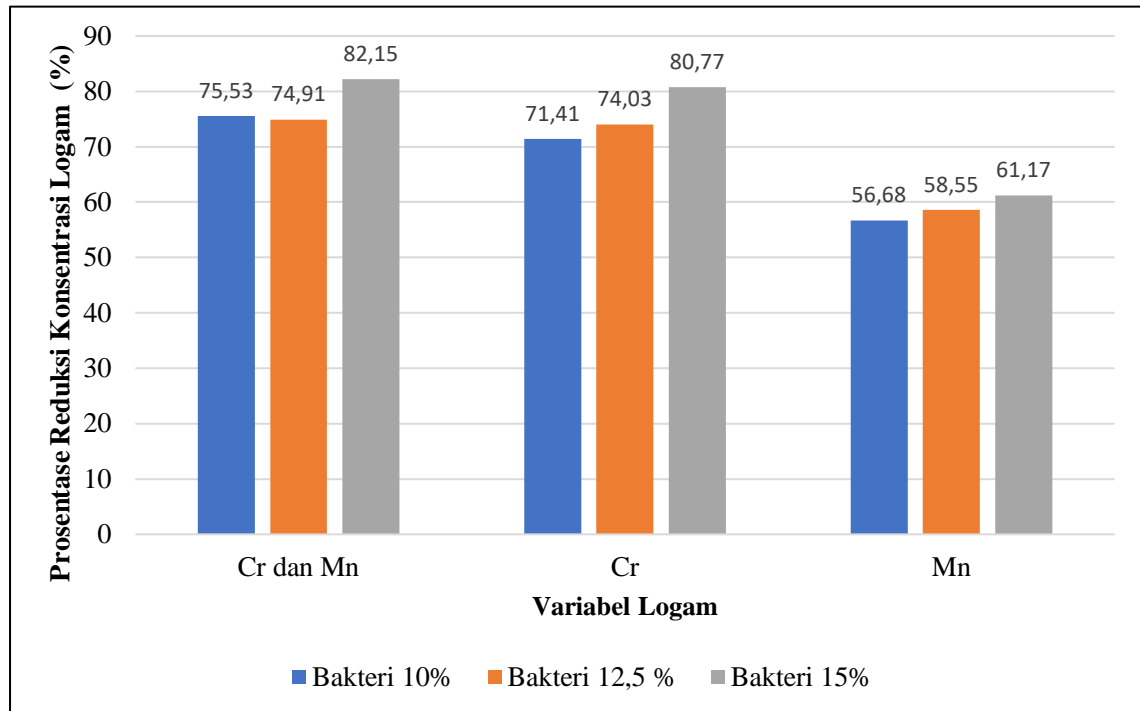


Gambar 4.16 Kurva reduksi konsentrasi logam Cr^{3+} dalam variabel campuran logam Cr dan Mn terhadap semua variabel bakteri



Gambar 4.17 Kurva reduksi konsentrasi logam Mn^{2+} dalam variabel campuran logam Cr dan Mn terhadap semua variabel bakteri

Dari gambar 4.14 hingga gambar 4.17 dapat terlihat bahwa populasi bakteri akan berbanding lurus dengan hasil reduksi konsentrasi logam berat. Pada gambar 4.18, didapatkan hubungan hasil reduksi konsentrasi logam berat tertinggi pada masing masing variabel dengan populasi bakteri sebagai berikut



Gambar 4.18 Kurva hubungan reduksi konsentrasi logam dengan populasi bakteri untuk semua variabel

Dari hasil analisa yang telah dilakukan untuk semua variabel bakteri, konsentrasi awal Cr^{6+} dan Mn^{7+} sebesar 8,01 mg/L. Berdasarkan Gambar 4.14 hingga 4.17, setelah proses berjalan selama 12 hari, variabel logam campuran Cr dan Mn dengan konsentrasi bakteri 15% mengalami prosentase penurunan konsentrasi logam tertinggi pada logam Cr^{6+} sebesar 82,15% dan logam Mn^{7+} sebesar 63,17%. Reduksi konsenstrasi logam Mn lebih kecil daripada logam Cr karena posisi logam Mn berada sebelah kiri logam Cr. Menurut deret volta, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut maka logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron) dan oksidator yang semakin kuat (mudah mengalami reduksi). Disamping populasi bakteri yang terbanyak, hal ini juga mempengaruhi produksi listrik yang dihasilkan karena didalam variabel campuran logam Cr dan Mn, potensial elektroda (E^0) oleh logam Mn akan membantu pembentukan energi listrik. Pada kompartemen katoda dimana Cr^{6+} dan Mn^{7+} akan berubah menjadi Cr^{3+} dan Mn^{2+} dengan bantuan dari kompartemen anoda berupa suplai elektron melewati kabel tembaga yang bereaksi dengan proton yang melewati jembatan

garam, dan membentuk molekul air. Semakin lama sisi katoda kaya akan proton sehingga reaksi reduksi konsentrasi logam Cr, Mn, dan campurannya berjalan dan konsentrasinya akan menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode *Microbial Fuel Cell (MFC) dual chamber* mampu mengkonversi limbah pabrik gula menjadi energi listrik serta mereduksi logam Cr dan Mn dengan bantuan bakteri *Shewanella oneidensis MR-1*.
2. Variabel konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* 15% adalah yang terbaik untuk menghasilkan produksi listrik tertinggi, yaitu sebesar 46,33 (mW/m²).
3. Variabel konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* 15% adalah yang terbaik untuk mereduksi logam berat Cr⁶⁺ menjadi Cr³⁺ terbesar pada variabel logam campuran Cr dan Mn dengan konsentrasi awal 8,01 mg/L menjadi 1,43 mg/L dengan persen removal sebesar 82,15%.
4. Variabel konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* 15% adalah yang terbaik untuk mereduksi logam berat Mn⁷⁺ menjadi Mn²⁺ terbesar pada variabel logam campuran Cr dan Mn dengan konsentrasi awal 8,01 mg/L menjadi 2,95 mg/L dengan persen removal sebesar 63,17%.
5. Variabel konsentrasi bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* 15% adalah yang terbaik untuk penurunan kadar BOD₅ terbesar pada variabel logam Cr dengan konsentrasi awal 4905 mg/L menjadi 2505 mg/L dengan persen removal BOD sebesar 48,93%.

V.2 Saran

1. Sirkulasi substrat pada kompartemen anoda di hari ke-7 untuk nutrisi bakteri agar terus memproduksi proton dan elektron sehingga bisa mengalami kenaikan produksi listrik dan reduksi logam lebih besar.
2. Variasi penggunaan elektroda lain seperti platina atau titanium sebagai akseptor elektron sehingga diharapkan mampu menghasilkan produksi listrik lebih besar.
3. Penambahan waktu proses penelitian lebih dari 12 hari dan peningkatan variabel konsentrasi bakteri sehingga diharapkan dapat menghasilkan produksi listrik dan reduksi logam lebih besar dari variabel sebelumnya.

APPENDIKS A

PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN

- Pembuatan larutan logam Cr^{6+} konsenstrasi 8mg/L dari serbuk $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam 800mL volume reaktor di katoda**

$$\begin{aligned}
 n_1 &= n_2 \\
 \frac{\text{Massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{\text{Mr K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} &= \frac{\text{Massa Cr}_2}{\text{Mr Cr}_2} \\
 \text{Massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 &= \frac{\text{Mr K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{\text{Mr Cr}_2} \times \frac{\text{Massa Cr}_2}{\text{Liter}} \times \text{Vol. Reaktor} \\
 &= \frac{293,98 \text{ gr/mol}}{2 \times 51,9 \text{ gr/mol}} \times \frac{8 \text{ mg}}{1 \text{ L}} \times 0,8 \text{ L} \\
 \text{Massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 &= 18,43 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian larutan dengan 18,43 mg serbuk $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam 800mL memiliki konsentrasi 8 mg/L Cr^{6+}

- Pembuatan larutan logam Mn^{7+} konsenstrasi 8mg/L dari serbuk KMnO_4 dalam 800mL volume reaktor di katoda**

$$\begin{aligned}
 n_1 &= n_2 \\
 \frac{\text{Massa KMnO}_4}{\text{Mr KMnO}_4} &= \frac{\text{Massa KMnO}_4}{\text{Mr KMnO}_4} \\
 \text{Massa KMnO}_4 &= \frac{\text{Mr KMnO}_4}{\text{Mr Mn}} \times \frac{\text{Massa Mn}}{\text{Liter}} \times \text{Vol. Reaktor} \\
 &= \frac{158,03 \text{ gr/mol}}{54,94 \text{ gr/mol}} \times \frac{8 \text{ mg}}{1 \text{ L}} \times 0,8 \text{ L} \\
 \text{Massa KMnO}_4 &= 18,41 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian larutan dengan 18,41 mg serbuk KMnO_4 dalam 800mL memiliki konsentrasi 8 mg/L Mn^{7+}

- Pembuatan larutan NaOH 1M dalam 100mL aquades untuk aktivasi elektroda**

$$\begin{aligned}
 \text{NaOH 1M} &= \frac{\text{gr}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{\text{mL}} \\
 1 &= \frac{\text{gr}}{40} \times \frac{1000}{100} \\
 \text{Massa NaOH} &= 4 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian larutan dengan 4 gr padatan NaOH dalam 100mL memiliki molaritas 1M

4. Pembuatan larutan HCl 1M dalam 100mL aquades untuk aktivasi elektroda

Diketahui densitas HCl = 1,19 Kg/L, dan BM HCl = 36,5

Mencari massa sebenarnya dari larutan HCl pekat 37% per Liter

$$= 37 \% \text{ per L} \times 1,19 \text{ Kg/L}$$

$$= 0,4403 \text{ Kg}$$

$$= 440,3 \text{ g}$$

$$\text{Molaritas HCL } 37\% \text{ per Liter} = \frac{440,3}{36,5} \times \frac{1000}{1000} = 12,063$$

Rumus Pengenceran agar menjadi HCl 1 M

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 12,063 = 100 \times 1$$

$$V_1 = 8,3 \text{ mL}$$

Dengan demikian larutan dengan 8,3 mL HCl dalam 100 mL memiliki molaritas 1M

APPENDIKS B

HASIL PENGAMATAN DAN PERHITUNGAN

1. Hasil Populasi Bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1

Tabel A-1 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1 variabel 10% (v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Populasi Bakteri 10 % Cr							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	11	13	12	17	16	13,8	3,45E+07
1	18	17	15	16	12	15,6	3,90E+08
2	18	15	20	16	19	17,6	4,40E+08
3	22	18	27	21	20	21,6	5,40E+08
4	24	24	22	20	24	22,8	5,70E+08
5	23	21	29	25	23	24,2	6,05E+08
6	26	24	22	23	25	24	6,00E+08
7	23	24	28	24	27	25,2	6,30E+08
8	28	27	30	29	28	28,4	7,10E+08
9	30	28	26	28	27	27,8	6,95E+08
10	23	26	24	22	25	24	6,00E+08
11	24	25	19	21	22	22,2	5,55E+08
12	19	18	19	17	17	18	4,50E+08

Tabel A-2 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1 variabel 12,5% (v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Populasi Bakteri 12,5 % Cr							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	25	22	24	22	20	22,6	5,65E+07
1	18	20	21	16	19	18,8	4,70E+08
2	22	24	20	20	22	21,6	5,40E+08
3	21	22	23	27	24	23,4	5,85E+08
4	26	27	25	23	26	25,4	6,35E+08
5	25	24	27	25	28	25,8	6,45E+08
6	27	30	28	27	29	28,2	7,05E+08
7	25	26	30	29	28	27,6	6,90E+08
8	30	30	31	33	31	31	7,75E+08
9	31	32	30	30	38	32,2	8,05E+08
10	24	31	25	29	24	26,6	6,65E+08
11	28	21	20	27	24	24	6,00E+08
12	21	26	22	19	19	21,4	5,35E+08

Tabel A-3 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 15% (v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Populasi Bakteri 15 % Cr							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	29	26	24	25	22	25,2	6,30E+07
1	16	19	24	28	22	21,8	5,45E+08
2	21	27	24	27	25	24,8	6,20E+08
3	32	20	30	25	31	27,6	6,90E+08
4	31	30	29	28	26	28,8	7,20E+08
5	27	29	27	28	26	27,4	6,85E+08
6	31	29	28	31	30	29,8	7,45E+08
7	32	30	31	32	33	31,6	7,90E+08
8	29	31	36	32	39	33,4	8,35E+08
9	29	30	32	31	27	29,8	7,45E+08
10	28	24	28	27	31	27,6	6,90E+08
11	26	22	21	26	29	24,8	6,20E+08
12	22	23	17	19	20	20,2	5,05E+08

Tabel A-4 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 10% (v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Populasi Bakteri 10 % Mn							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	12	11	16	13	14	13,2	3,30E+07
1	14	13	18	12	11	13,6	3,40E+08
2	18	12	16	15	13	14,8	3,70E+08
3	17	18	19	20	18	18,4	4,60E+08
4	11	13	17	14	16	14,2	3,55E+08
5	19	21	22	20	19	20,2	5,05E+08
6	21	24	23	22	23	22,6	5,65E+08
7	20	22	23	21	19	21	5,25E+08
8	20	20	22	21	22	21	5,25E+08
9	20	18	16	19	22	19	4,75E+08
10	23	21	22	19	18	20,6	5,15E+08
11	19	17	15	13	16	16	4,00E+08
12	15	15	13	14	18	15	3,75E+08

Tabel A-5 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 12,5% (v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Populasi Bakteri 12,5 % Mn							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	15	12	14	12	10	12,6	3,15E+07
1	13	14	11	14	11	12,6	3,15E+08
2	12	17	19	15	20	16,6	4,15E+08
3	18	19	16	19	17	17,8	4,45E+08
4	20	21	18	22	19	20	5,00E+08
5	19	16	18	17	19	17,8	4,45E+08
6	17	20	21	18	21	19,4	4,85E+08
7	20	16	20	19	21	19,2	4,80E+08
8	20	21	19	18	20	19,6	4,90E+08
9	21	22	25	20	23	22,2	5,55E+08
10	20	19	21	18	23	20,2	5,05E+08
11	18	17	22	20	19	19,2	4,80E+08
12	11	16	12	17	14	14	3,50E+08

Tabel A-6 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 15% (v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Populasi Bakteri 15 % Mn							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	25	22	20	21	18	21,2	5,30E+07
1	17	15	20	24	17	18,6	4,65E+08
2	19	22	20	23	21	21	5,25E+08
3	18	16	24	23	17	19,6	4,90E+08
4	31	29	22	21	19	24,4	6,10E+08
5	26	27	25	29	28	27	6,75E+08
6	25	23	24	30	27	25,8	6,45E+08
7	30	33	31	30	26	30	7,50E+08
8	25	27	33	26	34	29	7,25E+08
9	25	23	29	28	23	25,6	6,40E+08
10	24	20	23	24	27	23,6	5,90E+08
11	23	21	25	24	30	24,6	6,15E+08
12	20	19	20	19	17	19	4,75E+08

Tabel A-7 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 10% (v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Populasi Bakteri 10 % Cr Mn							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	20	18	21	20	19	19,6	4,90E+07
1	21	20	18	22	23	20,8	5,20E+08
2	23	21	22	20	23	21,8	5,45E+08
3	24	19	30	22	23	23,6	5,90E+08
4	27	26	23	24	25	25	6,25E+08
5	27	25	30	28	29	27,8	6,95E+08
6	30	29	30	28	29	29,2	7,30E+08
7	32	31	33	32	34	32,4	8,10E+08
8	33	34	33	34	35	33,8	8,45E+08
9	32	30	28	30	30	30	7,50E+08
10	28	27	26	24	26	26,2	6,55E+08
11	22	23	20	23	24	22,4	5,60E+08
12	18	19	21	18	19	19	4,75E+08

Tabel A-8 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 12,5% (v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Populasi Bakteri 12,5 % Cr Mn							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	23	20	24	20	22	21,8	5,45E+07
1	21	23	24	25	24	23,4	5,85E+08
2	24	25	24	25	24	24,4	6,10E+08
3	25	25	24	26	25	25	6,25E+08
4	24	25	24	26	28	25,4	6,35E+08
5	26	26	27	28	25	26,4	6,60E+08
6	29	30	31	28	28	29,2	7,30E+08
7	28	30	30	31	30	29,8	7,45E+08
8	33	32	32	32	33	32,4	8,10E+08
9	33	34	35	34	35	34,2	8,55E+08
10	31	30	32	28	29	30	7,50E+08
11	26	25	27	26	25	25,8	6,45E+08
12	24	21	23	22	21	22,2	5,55E+08

Tabel A-9 Hasil perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 15% (v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Populasi Bakteri 15 % Cr Mn							
Hari Ke -	Jumlah per kotak					Jumlah rata-rata (sel/Kotak)	Jumlah Bakteri (sel/ml)
	A	B	C	D	E		
0	20	24	26	23	22	23	5,75E+07
1	22	26	25	23	27	24,6	6,15E+08
2	27	24	26	28	29	26,8	6,70E+08
3	29	24	28	25	29	27	6,75E+08
4	28	33	27	31	30	29,8	7,45E+08
5	30	27	29	32	33	30,2	7,55E+08
6	33	39	36	32	34	34,8	8,70E+08
7	33	31	37	39	35	35	8,75E+08
8	41	38	40	41	40	40	1,00E+09
9	38	40	42	41	33	38,8	9,70E+08
10	35	37	32	38	34	35,2	8,80E+08
11	28	24	26	26	25	25,8	6,45E+08
12	25	23	25	23	22	23,6	5,90E+08

Contoh perhitungan populasi bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 15% (v/v) pada logam campuran Cr dan Mn hari ke-12 :

Jumlah rata-rata per kotak = 23,6 sel/kotak

Luas kotak = $1/25 \text{ mm}^2$

Kedalaman hemasitometer = 0.1 mm

Faktor pengenceran = 100 kali

$$\text{Jumlah sel/mm}^2 = 23,6 \frac{\text{sel}}{\text{kotak}} \times 25 \frac{\text{kotak}}{\text{mm}^2} = 590 \frac{\text{sel}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Jumlah sel/mm}^3 = 590 \frac{\text{sel}}{\text{mm}^2} \div 0.1 \text{ mm} = 5900 \frac{\text{sel}}{\text{mm}^3}$$

$$\text{Jumlah sel/ml} = 5900 \frac{\text{sel}}{\text{mm}^3} \times 1000 \frac{\text{mm}^3}{\text{ml}} = 5900000 \frac{\text{sel}}{\text{ml}}$$

Dikali faktor pengenceran 100 kali, maka

$$\text{Jumlah sel/ml} = 5900000 \frac{\text{sel}}{\text{ml}} \times 100 = 590000000 \frac{\text{sel}}{\text{ml}} = 5,9 \times 10^8 \frac{\text{sel}}{\text{ml}}$$

Selanjutnya menggunakan cara yang sama untuk perhitungan yang lain

2. Produksi listrik yang dihasilkan

Tabel A-10 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 10% (v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Power Density 10% Cr				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0,0	0	0,0022	0,000
1	0,118	0,1	0,0022	5,272
2	0,182	0,1	0,0022	8,131
3	0,179	0,1	0,0022	7,997
4	0,247	0,1	0,0022	11,035
5	0,286	0,1	0,0022	12,777
6	0,341	0,1	0,0022	15,234
7	0,353	0,1	0,0022	15,770
8	0,397	0,1	0,0022	17,736
9	0,364	0,1	0,0022	16,262
10	0,293	0,1	0,0022	13,090
11	0,285	0,1	0,0022	12,732
12	0,248	0,1	0,0022	11,079

Tabel A-11 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 12,5% (v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Power Density 12,5% Cr				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0,0	0	0,0022	0,000
1	0,184	0,1	0,0022	8,220
2	0,239	0,1	0,0022	10,677
3	0,253	0,1	0,0022	11,303
4	0,338	0,1	0,0022	15,100
5	0,338	0,1	0,0022	15,100
6	0,415	0,1	0,0022	18,540
7	0,447	0,1	0,0022	19,970
8	0,507	0,1	0,0022	22,650
9	0,521	0,1	0,0022	23,276
10	0,463	0,1	0,0022	20,685
11	0,387	0,1	0,0022	17,289
12	0,394	0,1	0,0022	17,602

Tabel A-12 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 15% (v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Power Density 15% Cr				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0,0	0	0,0022	0,000
1	0,382	0,1	0,0022	17,066
2	0,341	0,1	0,0022	15,234
3	0,414	0,1	0,0022	18,495
4	0,390	0,1	0,0022	17,423
5	0,490	0,1	0,0022	21,891
6	0,510	0,1	0,0022	22,784
7	0,578	0,1	0,0022	25,822
8	0,712	0,1	0,0022	31,809
9	0,646	0,1	0,0022	28,860
10	0,510	0,1	0,0022	22,784
11	0,480	0,1	0,0022	21,444
12	0,422	0,1	0,0022	18,853

Tabel A-13 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 10% (v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Power Density 10% Mn				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0,000	0	0,0022	0,000
1	0,110	0,08	0,0022	3,931
2	0,192	0,09	0,0022	7,720
3	0,257	0,1	0,0022	11,481
4	0,183	0,1	0,0022	8,176
5	0,295	0,09	0,0022	11,861
6	0,391	0,1	0,0022	17,468
7	0,373	0,1	0,0022	16,664
8	0,346	0,1	0,0022	15,458
9	0,279	0,1	0,0022	12,464
10	0,312	0,1	0,0022	13,939
11	0,285	0,09	0,0022	11,459
12	0,273	0,09	0,0022	10,977

Tabel A-14 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 12,5% (v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Power Density 12,5% Mn				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0,000	0	0,0022	0,000
1	0,137	0,08	0,0022	4,896
2	0,183	0,09	0,0022	7,358
3	0,199	0,1	0,0022	8,890
4	0,242	0,1	0,0022	10,811
5	0,218	0,1	0,0022	9,739
6	0,268	0,1	0,0022	11,973
7	0,294	0,09	0,0022	11,821
8	0,329	0,1	0,0022	14,698
9	0,351	0,1	0,0022	15,681
10	0,317	0,09	0,0022	12,746
11	0,274	0,1	0,0022	12,241
12	0,315	0,1	0,0022	14,073

Tabel A-15 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 15% (v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Power Density 15% Mn				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0,000	0	0,0022	0,000
1	0,210	0,1	0,0022	9,382
2	0,394	0,08	0,0022	14,082
3	0,348	0,08	0,0022	12,438
4	0,403	0,09	0,0022	16,204
5	0,423	0,09	0,0022	17,008
6	0,382	0,09	0,0022	15,359
7	0,517	0,1	0,0022	23,097
8	0,498	0,1	0,0022	22,248
9	0,475	0,1	0,0022	21,221
10	0,376	0,1	0,0022	16,798
11	0,410	0,1	0,0022	18,317
12	0,329	0,1	0,0022	14,698

Tabel A-16 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 10% (v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Power Density 10% Cr Mn				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0	0	0,0022	0,000
1	0,601	0,1	0,0022	26,850
2	0,538	0,1	0,0022	24,035
3	0,483	0,1	0,0022	21,578
4	0,690	0,1	0,0022	30,826
5	0,879	0,1	0,0022	39,269
6	0,892	0,1	0,0022	39,850
7	0,597	0,1	0,0022	26,671
8	0,648	0,1	0,0022	28,949
9	0,513	0,1	0,0022	22,918
10	0,671	0,1	0,0022	29,977
11	0,547	0,1	0,0022	24,437
12	0,582	0,1	0,0022	26,001

Tabel A-17 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 12,5% (v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Power Density 12,5% Cr Mn				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0	0	0,0022	0,000
1	0,394	0,1	0,0022	17,602
2	0,561	0,1	0,0022	25,063
3	0,548	0,1	0,0022	24,482
4	0,545	0,1	0,0022	24,348
5	0,791	0,1	0,0022	35,338
6	0,835	0,1	0,0022	37,304
7	0,754	0,1	0,0022	33,685
8	0,902	0,1	0,0022	40,297
9	0,926	0,1	0,0022	41,369
10	0,869	0,1	0,0022	38,823
11	0,752	0,1	0,0022	33,596
12	0,779	0,1	0,0022	34,802

Tabel A-18 Produksi listrik yang dihasilkan bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 15% (v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Power Density 15% Cr Mn				
Hari Ke -	Voltase	Arus (I)	Luas Permukaan	Power Density
	V	mA	m ²	mW/m ²
0	0	0	0,0022	0,000
1	0,576	0,1	0,0022	25,733
2	0,694	0,1	0,0022	31,004
3	0,497	0,1	0,0022	22,204
4	0,901	0,1	0,0022	40,252
5	0,864	0,1	0,0022	38,599
6	0,819	0,1	0,0022	36,589
7	0,931	0,1	0,0022	41,592
8	1,037	0,1	0,0022	46,328
9	1,003	0,1	0,0022	44,809
10	0,854	0,1	0,0022	38,153
11	0,882	0,1	0,0022	39,403
12	0,837	0,1	0,0022	37,393

Perhitungan luas permukaan 3 buah elektroda grafit batang silinder

Dengan pengukuran diketahui Diameter 0,5 cm ; $r = 0,25$; Tinggi (h) = 4,5 cm

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang (A)} &= 3 \times (2\pi r^2) + (2\pi r h) \\
 &= 3 \times (2 \times 3,14 \times 0,25^2 \text{cm}) + (2 \times 3,14 \times 0,25 \times 4,5 \text{cm}) \\
 &= 22,384 \text{ cm}^2 \\
 &= 0,0022 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan power density bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1* variabel 15% (v/v) pada logam campuran Cr dan Mn hari ke-12 :

Tegangan listrik = 837 mV = 0,837 V

Arus listrik = 0.1 mA

Luas permukaan elektroda = 0,0022 m²

$$\begin{aligned}
 \text{Power Density } \left(\frac{\text{mW}}{\text{m}^2} \right) &= \frac{I (\text{mA}) \times V (\text{Volt})}{A (\text{m}^2)} \\
 &= \frac{0,1 \times 0,837}{0,0022} \\
 &= 37,393 \left(\frac{\text{mW}}{\text{m}^2} \right)
 \end{aligned}$$

3. Hasil Uji Analisa BOD

Tabel A-19 Analisa BOD untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1(v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Variabel Logam Cr			
Hari Ke -	BOD ₅ (mg/L)		
	Bakteri 10%	Bakteri 12,5%	Bakteri 15%
0	4890	4905	4905
2	4680	4370	4325
4	4130	4015	4015
6	3755	3735	3675
8	3360	3410	3140
10	3165	3225	2890
12	2895	2810	2505

Tabel A-20 Analisa BOD untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1(v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Variabel Logam Mn			
Hari Ke -	BOD ₅ (mg/L)		
	Bakteri 10%	Bakteri 12,5%	Bakteri 15%
0	4905	4900	4900
2	4370	4660	4535
4	4015	3750	4025
6	3735	3485	3690
8	3410	3210	3345
10	3225	3005	3005
12	2810	2755	2615

Tabel A-21 Analisa BOD untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1(v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Variabel Logam Campuran Cr dan Mn			
Hari Ke -	BOD ₅ (mg/L)		
	Bakteri 10%	Bakteri 12,5%	Bakteri 15%
0	4890	4895	4905
2	4450	4635	4720
4	4185	4200	4490
6	3655	3735	4085
8	3460	3350	3775
10	3325	3530	3440
12	3015	3110	2930

4. Hasil pH di kompartemen Katoda

Tabel A-22 Analisa pH untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1(v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Variabel Logam Cr			
Hari Ke -	pH Katoda untuk variabel bakteri		
	10%	12,5%	15%
0	4	4	4
1	4	4	4
2	4	4	4
3	3,9	3,9	3,9
4	3,9	3,9	3,9
5	3,9	3,9	3,9
6	3,7	3,8	3,8
7	3,8	3,8	3,8
8	3,7	3,7	3,7
9	3,7	3,7	3,7
10	3,8	3,7	3,7
11	3,7	3,8	3,7
12	3,7	3,7	3,7

Tabel A-23 Analisa pH untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1(v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Variabel Logam Mn			
Hari Ke -	pH Katoda untuk variabel bakteri		
	10%	12,5%	15%
0	4	4	4
1	4	4	4
2	4	4	4
3	3,9	4	4
4	3,9	3,9	3,9
5	3,9	3,9	3,9
6	3,7	3,8	3,8
7	3,8	3,7	3,7
8	3,7	3,7	3,7
9	3,7	3,7	3,7
10	3,7	3,7	3,7
11	3,8	3,8	3,8
12	3,8	3,8	3,8

Tabel A-24 Analisa pH untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1(v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Variabel Logam Cr & Mn			
Hari Ke -	pH Katoda untuk variabel bakteri		
	10%	12,5%	15%
0	4	4	4
1	4	4	4
2	4	3,9	3,9
3	3,9	3,9	3,9
4	3,9	3,9	3,9
5	3,9	3,9	3,9
6	3,7	3,8	3,8
7	3,8	3,7	3,7
8	3,7	3,7	3,7
9	3,8	3,8	3,8
10	3,8	3,7	3,8
11	3,7	3,7	3,7
12	3,7	3,7	3,7

5. Hasil Reduksi Logam Berat

Tabel A-25 Analisa reduksi logam untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis* MR-1(v/v) pada logam Cr selama 12 hari

Hari Ke -	Reduksi Logam Cr (mg/L)		
	Bakteri 10%	Bakteri 12,5%	Bakteri 15%
0	8,01	8,01	8,01
2	7,46	7,12	7,28
4	6,32	6,65	6,52
6	5,25	5,83	5,24
8	4,71	5,17	3,63
10	3,26	3,75	2,41
12	2,29	2,08	1,54

Tabel A-26 Analisa reduksi logam untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1*(v/v) pada logam Mn selama 12 hari

Hari Ke -	Reduksi Logam Mn (mg/L)		
	Bakteri 10%	Bakteri 12,5%	Bakteri 15%
0	8,01	8,01	8,01
2	7,21	6,89	6,64
4	6,57	6,16	6,08
6	5,62	5,28	5,32
8	5,08	4,64	4,21
10	4,28	4,45	3,89
12	3,47	3,32	3,11

Tabel A-27 Analisa pH untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1*(v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Hari Ke -	Reduksi Logam Campuran Cr dan Mn (mg/L)		
	Reduksi Logam Cr (mg/L)		
	Bakteri 10%	Bakteri 12,5%	Bakteri 15%
0	8,01	8,01	8,01
2	7,21	6,93	7,15
4	6,02	6,24	6,37
6	5,37	5,41	4,21
8	4,42	4,78	3,55
10	3,54	3,52	2,12
12	1,96	2,01	1,43

Tabel A-28 Analisa pH untuk semua konsentrasi variabel bakteri *Shewanella Oneidensis MR-1*(v/v) pada logam campuran Cr dan Mn selama 12 hari

Hari Ke -	Reduksi Logam Campuran Cr dan Mn (mg/L)		
	Reduksi Logam Mn (mg/L)		
	Bakteri 10%	Bakteri 12,5%	Bakteri 15%
0	8,01	8,01	8,01
2	7,16	7,52	6,32
4	6,85	6,43	5,87
6	5,62	5,28	5,11
8	4,21	4,63	4,68
10	3,44	3,59	3,73
12	3,26	3,12	2,95

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Ginanjar Adi Prakoso, dilahirkan di Surabaya 26 September 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal SDN Kertajaya XII no.218 Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya, SMA Negeri 5 Surabaya, D3 Teknik Kimia FTI-ITS, S1 Teknik Kimia FTI-ITS. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Pabrik Gula Kribet Baru II Malang, dan PT. Petrokimia Gresik Pabrik III A bagian Asam Sulfat. Penulis mengambil penelitian di laboratorium Pengolahan Limbah Industri, dan telah menyelesaikan tugas pra desain pabrik dengan judul “Pra Desain Pabrik Asam Sulfat dari Belerang dengan Proses *Double Contact Double Absorber*” dan skripsi dengan judul “Pengaruh Proses Metabolisme Bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* Pada Pengolahan Limbah Logam Cr dan Mn dalam Reaktor *Microbial Fuel Cells* (MFC)”.



: gee.adiprakoso@gmail.com



Penulis bernama lengkap Tommy Adam Bachtiar, dilahirkan di Surabaya 24 September 1993, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal SDN Asemrowo III no.64 Surabaya, SMP Negeri 5 Surabaya, SMA Negeri 7 Surabaya, D3 Teknik Kimia FTI-ITS, S1 Teknik Kimia FTI-ITS. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Semen Indonesia Persero Tbk Tuban, dan PT. Petrokimia Gresik Pabrik II A bagian Asam Phospat. Penulis mengambil penelitian di laboratorium Pengolahan Limbah Industri, dan telah menyelesaikan tugas pra desain pabrik dengan judul “Pra Desain Pabrik Asam Sulfat dari Belerang dengan Proses *Double Contact Double Absorber*” dan skripsi dengan judul “Pengaruh Proses Metabolisme Bakteri *Shewanella oneidensis MR-1* Pada Pengolahan Limbah Logam Cr dan Mn dalam Reaktor *Microbial Fuel Cells* (MFC)”.



: tommy.adam14@gmail.com